

4587/II/H/92

# TUGAS AKHIR

## STUDI PENDAHULUAN BENDUNGAN BENDO DI KABUPATEN PONOROGO, JAWA TIMUR



PERPUSTAKAAN

T

11/11/1992

H.

AC/TA



MILIK PERPUSTAKAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER

Disusun oleh :

Dwi Hari Purwanto

3893100817

BIDANG STUDI HIDROTEKNIK  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

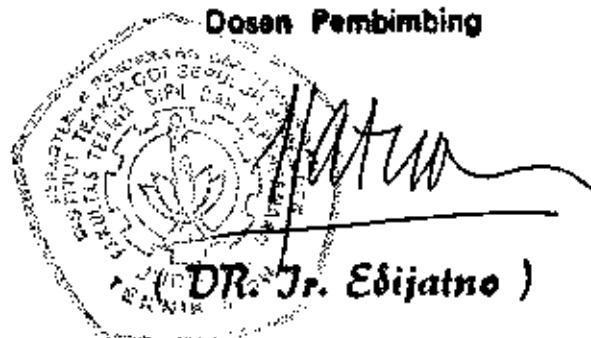
1992

# **TUGAS AKHIR**

## **STUDI PENDAHULUAN BENDUNGAN BENDO DI KABUPATEN PONOROGO, JAWA TIMUR**

**Mengetahui / Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing**



**DR. Ir. Edijatno )**

**BIDANG STUDI HIDROTEKNIK  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**

**1992**

## ABSTRAKSI

Bendungan Bendo ini terletak didesa Ngindeng kecamatan Sawoo, kabupaten Ponorogo Jawa Timur. yang mempunyai luas daerah pengaliran sebesar 143,13 Ha merupakan salah satu proyek yang direncanakan di Wilayah Bengawan Sala.

Tujuan utama pembangunan bendungan Bendo ini adalah untuk meningkatkan produksi pertanian, sehingga dengan demikian akan dapat meningkatkan taraf hidup dan kemakmuran rakyat didaerah sekitar proyek. Selain itu, dapat pula memberikan energi.

Dari hasil evaluasi data-data yang mendukung yang berdasarkan survey dan perencanaan yang disertai dengan analisa dari berbagai alternatif, maka dipilih alternatif pembangunan bendungan dengan type urugan.

Dengan demikian dapat diharapkan, bahwa adanya proyek bendungan Bendo ini akan memberi hasil yang berguna bagi masyarakat disekitar bendungan dan pemerintah.

## KATA PENGANTAR

Tiada kata indah yang patut saya ucapkan hanyalah rasa syukur kepada Allah SWT. Dengan karunia Allah-lah saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang merupakan syarat yang harus ditempuh oleh Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Tugas akhir ini dipakai untuk mengetahui sampai seberapa jauh materi kuliah dapat dikuasai mahasiswa yang mempunyai bobot sebesar 6 sks. Dalam tugas akhir ini saya mengambil judul " Studi Pendahuluan Bendungan Bendo Di Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur".

Dengan tersusunnya tugas akhir ini, saya patut mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua serta saudara kandung, yang telah banyak memberi dorongan dalam menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak DR.Ir Edijatno, sebagai dosen pembimbing yang telah bersabar membimbing pekerjaan tugas akhir saya.

3. Ibu Ir Anggrahini, Msc, sebagai dekan fakultas teknik sipil dan perencanaan ITS dan juga sebagai ketua bidang studi Hidro teknik fakultas teknik sipil ITS
4. Semua pihak yang telah banyak memberi bantuan baik berupa moril dan materil, hingga dapat terselesainya tugas akhir ini.

Akhirnya saya ucapkan buku tugas akhir ini dapat berguna dikemudian hari.

Surabaya, Februari 1992

Penyusun

DWI HARI PURWANTO

3893100817

# D A F T A R   I S I

hal

ABSTRAKSI

KATA PENGANTAR

i

DAFTAR ISI

iii

DAFTAR TABEL

x

DAFTAR GAMBAR

xvii

DAFTAR GRAFIK

xviii

DAFTAR RUMUS

xxi

BAB     I     : PENDAHULUAN

1.1. UMUM

1

1.2. LATAR BELAKANG

2

1.3. MAKSUD DAN TUJUAN

3

1.4. PERUMUSAN MASALAH

4

1.5. RUANG LINGKUP PEMBAHASAN

5

BAB     II     : DATA TEKNIS DAN PEMILIHAN TYPE BENDUNGAN

2.1. UMUM

9

2.2. PEMETAAN

10

2.3. DATA HIDROLOGI DAN METEOROLOGI

11

2.3.1. Data Curah Hujan

12

2.3.2. Data Debit	12
2.3.3. Data Sedimentasi	13
2.3.4. Data Klimatologi	13
2.4. TOPOGRAFI DAN GEOLOGI	14
2.4.1. Topografi	14
2.4.2. Geologi	16
2.5. MATERIAL BENDUNGAN	19
2.6. PENENTUAN DAM SITE	21
2.7. PENENTUAN JENIS BENDUNGAN	28
BAB III : ANALISA HIDROLOGI	
3.1. UMUM	30
3.2. ANALISA CURAH HUJAN	
3.2.1. Penentuan curah hujan rata-rata harian maksimum	32
3.2.2. Perhitungan curah hujan harian maksimum dengan metode Gumbel	41
3.2.3. Uji kesesuaian data hujan dengan Smirnov-Kolmogorov test	43
3.2.4. Pola Distribusi Hujan	52

3.2.5. Koefisien Pengaliran	55
3.2.6. Distribusi Hujan Efektif	56
3.2.7. Curah Hujan Terbesar Yang Mungkin Terjadi	57
3.3. DEBIT BANJIR RENCANA	69
3.4. PERHITUNGAN DEBIT ANDALAN	92
3.5. ANALISA SEDIMEN	98
3.5.1. Suspended Load	99
3.5.2. Bed Load	106
3.5.3. Jumlah Angkutan Sedimen Dalam sungai	109
3.5.4. Pengendapan Sedimen Dalam Waduk	109

#### BAB IV : ANALISA PEMANFAATAN AIR

4.1. UMUM	113
4.2. PEMANFAATAN AIR UNTUK IRIGASI	116
4.2.1. Kondisi Daerah Pengairan	117
4.2.2. Karakteristik Daerah Pengairan	117
4.2.3. Perhitungan kebutuhan Air	118



4.2.3.1.	Kebutuhan Air di Sawah Untuk Padi	118
4.2.3.2.	Kebutuhan Air di Sawah Untuk Tanaman Tebu Dan Polowijo	139
4.2.3.3.	Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi	141
4.3.	PENENTUAN KAPASITAS WADUK	
4.3.1.	Penentuan Kapasitas dan Luas Genangan	148
4.3.2.	Penentuan Kapasitas Waduk Bendo	149
4.4.	PENENTUAN KAPASITAS PEMBANGKITAN	
4.4.1.	INTAKE	157
4.4.2.	Menentukan Diameter Head Race Tunnel	157
4.4.3.	Menentukan Muka Air Operasi Tertinggi (FSL)	159
4.4.4.	Menentukan Diameter Penstock	159
4.4.5.	Menentukan Diameter Surge Tank	160
4.4.6.	Tinggi Jatuh Efektif	162

4.5.	PERHITUNGAN ENERGI	169
4.6.	PENENTUAN JENIS TURBIN	170
 BAB V	 : RENCANA UMUM BENDUNGAN DAN SARANANYA	
5.1.	UMUM	171
5.2.	PERENCANAAN SPILLWAY	173
5.2.1.	Perhitungan Kapasitas Bangunan pelimpah	175
5.2.2.	Perhitungan Flood Routing	181
5.2.3.	Bentuk Penampang Spillway	187
5.2.4.	Penentuan Stilling Bazin	193
5.3.	PERHITUNGAN COFFERDAM DAN SALURAN PENGELAK	196
5.4.	PERENCANAAN TUBUH BENDUNGAN	204
5.5.	ANALISA STABILITAS TUBUH BENDUNGAN	211
 BAB VI	 : ANALISA EKONOMI	
6.1.	UMUM	227
6.2.	PERKIRAAN TUBUH BENDUNGAN	228
6.3.	PERKIRAAN HUBUNGAN ANTARA VOLUME PEKERJAAN DAN BIAYA KONSTRUKSI	
6.3.1.	Intake	231

6.3.2. Penstock	232
6.3.3. Power House	234
6.3.4. Power Equipment (Peralatan pembangkit)	235
6.3.5. Surge Tank	235
6.3.6. Head Race	236
6.3.7. Biaya Pembebasan Tanah	237
6.3.8. Bendungan dan Cofferdam	237
6.3.9. Bangunan Pelimpah	238
6.3.10. Diversion Tunnel	239
6.4. ANALISA KEUNTUNGAN PROYEK	
6.4.1. Analisa Keuntungan Dari Irigasi	246
6.4.1.1. Perhitungan Biaya Pengolahan	248
6.4.1.2. Benefit Irigasi	252
6.4.2. Analisa Keuntungan Dari PLTA	255
6.4.3. Perhitungan Benefit cost Ratio (BCR)	263
6.4.4. Perhitungan Interest Rate Of Return (IRR)	266

BAB VII : URAIAN MENGENAI ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN SECARA GARIS BESAR	
7.1. UMUM	268
7.2. DAMPAK PENTING YANG MUNGKIN DITIMBULKAN	269
7.3. RUANG LINGKUP ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN	272
7.4. ASPEK LINGKUNGAN YANG DITELAAH	273
7.5. KEGIATAN YANG HARUS DITELAAH DAMPAKNYA	276
7.6. METODOLOGI DALAM ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN	277
7.7. EVALUASI DAMPAK	279
 BAB VIII : KESIMPULAN	 280
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

hal :

III.1.	Curah hujan harian maksimum untuk sta POEDAK.....	36
III.2.	Curah hujan harian maksimum untuk sta SAWOO.....	37
III.3.	Curah hujan harian maksimum untuk sta SOKOO.....	38
III.4.	Curah hujan harian maksimum rata-rata.....	39
III.5.	Curah hujan harian rata-rata dengan Metode Gumbel...	40
III.6.	Hubungan periode ulang $Y_t$ dan $X_t$ .....	43
III.7.	Reduced mean $Y_n$ in Gumbel's Extreme Value Distribution .....	44
III.8.	Reduced Standart Deviation in Gumbel's Extreme Value Distribution .....	44
III.9.	Tahapan plotting data pada kertas probabilitas Gumbel .....	47
III.10.	Harga $\Delta$ kritis ( $\Delta_{cr}$ ) untuk Smirnov Kolmogorov test .....	49
III.11.	Perhitungan selisih probabilitas .....	51
III.12.	Perhitungan distribusi curah hujan jam-jaman .....	54
III.13.	Prosentase hujan jam-jaman .....	55
III.14.	Distribusi hujan efektif setiap jam .....	57
III.15.	Hasil distribusi Probable Maksimum ( $P_mP$ ) .....	61
III.16.	Harga $Q$ pada jam ke- $T$ .....	74

III.17. Tabel harga Y pada metode Alexeyev untuk berbagai harga X dan $\lambda$ .....	75
III.18. Hidrograf banjir untuk 10 tahun tanpa Base flow metode Snyder & Alexeyev .....	76
III.19. Hidrograf banjir untuk 20 tahun tanpa Base flow metode Snyder & Alexeyev .....	77
III.20. Hidrograf banjir untuk 100 tahun tanpa Base flow metode Snyder & Alexeyev .....	78
III.21. Hidrograf banjir untuk 200 tahun tanpa Base flow metode Snyder & Alexeyev .....	79
III.22. Hidrograf banjir untuk 500 tahun tanpa Base flow metode Snyder & Alexeyev .....	80
III.23. Hidrograf banjir untuk 1000 tahun tanpa Base flow metode Snyder & Alexeyev .....	81
III.24. Hidrograf banjir untuk PmP tanpa Base flow metode Snyder & Alexeyev .....	82
III.25. Perhitungan Hidrograf Banjir 10 tahun dengan Base flow .....	83
III.26. Perhitungan Hidrograf Banjir 20 tahun dengan Base flow .....	84
III.27. Perhitungan Hidrograf Banjir 100 tahun dengan Base flow .....	85

III.28. Perhitungan Hidrograf Banjir 200 tahun dengan Base flow .....	86
III.29. Perhitungan Hidrograf Banjir 500 tahun dengan Base flow .....	87
III.30. Perhitungan Hidrograf Banjir 1000 tahun dengan Base flow .....	88
III.31. Perhitungan Hidrograf Banjir PmP tahun dengan Base flow .....	89
III.32. Data debit pada daerah aliran sungai Ngindeng ..	93
III.33. Perhitungan Debit Andalan Sungai Ngindeng .....	94
III.34. Perhitungan Debit Andalan untuk menentukan Base flow .....	95
III.35. Hasil pengukuran dan analisa Suspended Load kali Ngindeng .....	101
III.36. Hasil perhitungan Suspended Load kali Ngindeng ....	102
III.37. Perhitungan Angkutan Suspended Load .....	106
III.38. Tabel Borland and Muddock .....	108
IV.1. MID Monthly Intensity of Solar Radiation (RA) on a Horizontal Surface in mm of Water Evaporated Per Day .....	124
IV.2. Koefisien Refraksi ( $v$ ) dalam % .....	126
IV.3. Value of $\sigma$ $T_a^4$ for Various Temperature when	

# Computing Evapotranspiration by Penman Method

IV.4.	Mean Daily Duration of Maximum Possible Sunshine Hours (N) for Different Months and Latitudes	127
IV.5.	Klimatologi Rata-rata bulanan di stasiun Jiwan ....	128
IV.6.	Perhitungan Evapotranspirasi .....	131
IV.7.	Harga-harga koefisien tanaman padi .....	132
IV.8.	Perhitungan untuk bulan Januari I .....	135
IV.9.	Data curah hujan setengah bulanan di sta 42000 ....	136
IV.10.	Curah hujan setengah bulanan dengan periode ulang 5 tahun .....	137
IV.11.	Tengah bulanan efektif (mm) .....	138
IV.12.	Harga Kc untuk tanaman Polowijo dengan perhitungan ETo dari FAU .....	140
IV.13.	Perhitungan kebutuhan air Alternatif I .....	143
IV.14.	Perhitungan kebutuhan air Alternatif II .....	144
IV.15.	Perhitungan kebutuhan air Alternatif III .....	145
IV.16.	Hasil perhitungan kebutuhan air di sawah (l/dt/ha)	146
IV.17.	Kebutuhan air irigasi dengan pola tanam Padi I - Padi II - Polowijo .....	147
IV.18.	Hubungan antara elevasi, luas dan volume genangan	151
IV.19.	Perhitungan kapasitas waduk .....	153



IV.20.	Koefisien turbin berdasarkan tinggi jatuh .....	170
V.1.	Hubungan antara elevasi dan debit yang melimpah pada spillway .....	179
V.2.	Hubungan elevasi, storage dan $(2 S/t + C)$ .....	183
V.3.	Hubungan outflow hidrograf dengan inflow PmP .....	186
V.4.	Hasil perhitungan lengkung peralihan profil spillway .....	191
V.5.	Hubungan antara kedalaman air di ceratongkan dengan debit .....	200
V.6.	Hubungan antara elevasi, outflow dan $(2 S/t + C)$ .....	200
V.7.	Perhitungan elevasi muka air tertinggi pada tampungan Cofferdam .....	203
V.8.	Perhitungan stabilitas tubuh bendungan untuk bagian upstream dalam keadaan kosong / selesai dibangun .....	220
V.9.	Perhitungan stabilitas tubuh bendungan untuk bagian Downstream dalam keadaan kosong / selesai dibangun .....	221
V.10.	Perhitungan stabilitas tubuh bendungan untuk bagian Upstream dalam keadaan muka air maksimum .....	222
V.11.	Perhitungan stabilitas tubuh bendungan untuk bagian Downstream dalam keadaan muka air maksimum .....	223

V.12.	Perhitungan stabilitas tubuh bendungan untuk bagian Upstream dalam keadaan turun tiba-tiba (Rapid Drop Down) dari muka air banjir sampai kosong .....	224
V.13.	Perhitungan stabilitas tubuh bendungan untuk bagian Downstream dalam keadaan turun tiba-tiba (Rapid Drop Down) dari muka air banjir sampai ditengah .....	225
VI.1.	Perhitungan Hubungan elevasi dan volume bendungan	230
VI.2.	Rekapitulasi biaya proyek .....	245
VI.3.	Keadaan daerah sebelum ada bendungan .....	247
VI.4.	Keadaan daerah setelah ada bendungan .....	247
VI.5.	Biaya Pengolahan sebelum ada proyek .....	249
VI.6.	Biaya Pengolahan Rencana .....	250
VI.7.	Harga jual produksi pertanian .....	253
VI.8.	Hasil keuntungan dari irigasi .....	255
VI.9.	Biaya pembangunan PLTU Gresik untuk tingkat harga tahun 1978 .....	257
VI.10.	Biaya pembangunan PLTU Gresik untuk tingkat harga tahun 1993 .....	258
VI.11.	Assumsi-assumsi antara PLTA dan PLTU .....	258
VI.12.	Harga kapasitas PLTU Gresik tahun 1993 .....	260

VI.13.	Perhitungan keuntungan kotor dari penjualan listrik PLTA Bendungan Bendo .....	262
VI.14.	Perhitungan keuntungan bersih dari penjualan listrik PLTA Bendungan Bendo .....	262
VI.15.	Perhitungan Biaya .....	262
VII.1.	Matrix Fisher and Davies .....	296

## DAFTAR GAMBAR

	hal :
1.1. Peta Umum - General Map .....	7
1.2. Rencana induk pengembangan wilayah sungai Bengawan Solo .....	8
2.1. Alternatif Dam Sites (Bendo Dam) .....	25
2.2. General lay out for Dam Site (Alternatif 2 ) Bendo Dam .....	26
2.3. Potongan melintang Alternatif 2 .....	27
3.1. Peta Poligon Thiesen daerah aliran Sungai Ngindeng ....	50
3.2. Distribusi curah hujan jam-jaman .....	54
3.3. Pola pembagian intensitas curah hujan .....	62
5.1. Skema formasi garis depresi pada bendungan	
5.2. Stabilitas tubuh bendungan pada bagian Upstream	
5.3. Stabilitas tubuh bendungan pada bagian Downstream	

## DAFTAR GRAFIK

hal :

3.1.	Extreme Probability Paper .....	63
3.2.	Grafik hubungan antara Km dengan fungsi durasi hujan dan rata-rata hujan maksimum tahunan .....	63
3.3.	Grafik Adjustment dari Rata-rata hujan tahunan maksimum dengan lamanya pencatatan data .....	64
3.4.	Grafik Adjustment dari Rata-rata dan Standart Durasi dengan lamanya pencatatan data hujan .....	65
3.5.	Grafik Adjustment dari standart hujan maksimum tahunan dengan lamanya pencatatan data .....	66
3.6.	Grafik hubungan Faktor Reduksi Luasan dengan Durasi hujan dan Luas Daerah Aliran .....	67
3.7.	Grafik hubungan antara Fixed time internal adjustment dengan lamanya pencatatan data hujan .....	68
3.8.	Hidrograf Banjir Metode Snyder Alexeyev tanpa Base flow .....	90
3.9.	Hidrograf Banjir Metode Snyder Alexeyev dengan Base flow .....	91
3.10.	Grafik Debit Andalan .....	96
3.11.	Grafik Debit Andalan untuk Base flow .....	97

3.12. Reservoir trap efisiensi .....	
4.1. Temperatur Vs. Saturated Vapor pressure ( After Criddle) .....	124
4.2. Temperatur Vs. $\Delta$ .....	125
4.3. Hubungan elevasi, luas dan volume .....	152
4.4. Grafik hubungan Inflow dan Outflow .....	154
4.5. Grafik hubungan Inflow dan Outflow komulatif .....	155
5.1. Hubungan antara elevasi dan debit yang melimpah .....	180
5.2. Hubungan elevasi dan outflow untuk spillway .....	184
5.3. Hubungan antara elevasi dan ( $2 S/t + 0$ ) spillway ....	185
5.4. Factors for definition of nappe-shaped crest propiles ( sheet 1 of 2 ) .....	188
5.5. Factors for definition of nappe-shaprd crest propiles ( sheet 2 of 2 ) .....	189
5.6. Stilling Bazin Characteristics for use with Froude Numbers above 4,5 .....	195
5.7. Hubungan antara elevasi dengan Outflow Cofferdam .....	201
5.8. Hubungan antara elevasi dan ( $2S/t + 0$ ) Cofferdam .....	202
6.1. Biaya konstruksi untuk Intake Pressure Type dan Intake Non Pressure Type .....	240
6.2. Biaya konstruksi untuk Pressure Shagt dan Steel Liners .....	241

6.3.	Biaya konstruksi untuk Pekerjaan Sipil Power House termasuk Sub Structure dan peralatan pembangkit .....	242
6.4.	Biaya konstruksi untuk pipa pengaku aliran tekan dan Surge Tank .....	243
6.5.	Biaya konstruksi untuk Bendungan Urugan .....	244

## B A B I

### P E N D A H U L U A N

#### 1.1. Umum

Dalam rangka pengembangan Wilayah Sungai Bengawan Solo dibagian hulu yang termasuk juga Wilayah sungai Madiun, maka pemerintah bermaksud merencanakan pembuatan waduk-waduk dibagian hulu dari anak-anak sungainya. Pembangunan bendungan tersebut tidak lain untuk meningkatkan kemakmuran rakyat melalui perbaikan di bidang pertanian dengan sistim irigasinya, penambahan air bersih serta untuk keperluan pembangkit tenaga listrik.

Salah satu cara perbaikan di bidang pertanian yaitu dengan memperbaiki atau membuat sistim irigasi yang memadai. Sistim irigasi ini merupakan faktor yang mutlak diperlukan untuk negara agraris seperti Indonesia, dengan sistim irigasi ini dapat diharapkan adanya usaha untuk meningkatkan produksi pertanian.

Pembangkit tenaga listrik dan penambahan kebutuhan air bersih juga merupakan faktor yang sangat penting pula. Dengan adanya listrik, maka dapat meningkatkan hasil produksi dari sektor perindustrian untuk diekspor ke luar negeri yang secara tidak langsung membantu pemerintah dalam



ekspor non migas.

Sejalan dengan lajunya pembangunan yang semakin pesat disegala bidang, maka daerah yang termasuk dalam wilayah pengembangan Sungai Bengawan Solo berusaha menggali potensi-potensi air yang ada didalam wilayahnya, berupa usaha pemenuhan akan kebutuhan air yang kian meningkat.

Guna menunjang usaha tersebut, perlu segera diadakan study yang erat kaitannya dengan usaha pemenuhan kebutuhan air irigasi dan penambahan tenaga listrik di Wilayah Sungai Ngindeng yang merupakan hulu dari kali Keyang, sedangkan mata airnya berada di gunung Wilis. Sehingga Pemerintah bermaksud untuk membangun bendungan Bendo pada aliran kali Keyang yang mempunyai catchment area seluas 131.43 km<sup>2</sup> dengan panjang seluruh alur sungainya 160.16 km<sup>2</sup>.

## 1.2. Latar Belakang

Pembuatan bendungan Bendo ini adalah untuk pengembangan irigasi pada daerah hilir yang telah dilengkapi dengan saluran irigasi tetapi masih selalu kekurangan air dan menambah kebutuhan akan tenaga listrik. Adapun gambaran dari kebutuhan dengan dibangunnya bendungan Bendo ini Yaitu :

- Untuk kebutuhan irigasi

Pada saat ini luas lahan persawahan yang akan membutuhkan air irigasi seluas 3400 Ha yang terletak kira-kira 2 km di

sebelah hilir bendungan dan berada di selatan kota Ponorogo, sedang arel tersebut sangat diperlukan sekali untuk pertanian.

Hal tersebut disebabkan, karena para petani hanya mengandalkan curah hujan sebagai satu-satunya sumber untuk mengairi lahan persawahan, jadi lahan tersebut hanya berproduksi pada musim penghujan saja dan pada musim kemarau tidak dapat berproduksi dengan baik.

- Untuk kebutuhan tenaga listrik

Dalam hal ini pembangkit listrik tenaga air tidak hanya digunakan untuk kebutuhan konsumsi lokal yang makin lama makin meningkat, tetapi juga dalam rangka peningkatan tenaga listrik seluruh Jawa Timur.

Lokasi dari bendungan Bendo ini terletak pada  $7^{\circ}49'33''$  -  $7^{\circ}59'30''$  LS dan  $111^{\circ}34'57''$  -  $111^{\circ}44'40''$  BT pada desa Ngindeng kecamatan Sawoo kabupaten Ponorogo.

Dengan dibangunnya bendungan Bendo ini, maka lahan persawahan tersebut diharapkan dapat berproduksi 2 sampai 3 kali dalam setahun dan memberi supply tambahan pada jaringan listrik di daerah Madiun pada khususnya dan daerah Jawa Timur umumnya.

### 1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dari Study ini adalah untuk memberi gambaran

secara menyeluruh tentang bendungan Bendo yang akan dibangun, dalam usaha untuk pemecahan maupun alternatif yang cocok dan ekonomis untuk mengatasi masalah-masalah tersebut diatas.

Dalam hal ini, study yang akan dilaksanakan mempunyai tujuan untuk memberi kemungkinan-kemungkinan penambahan kebutuhan air irigasi dan tenaga listrik di Wilayah kabupaten Ponorogo.

#### 1.4. Perumusan Masalah

Umumnya keadaan sungai di Indonesia pada musim kemarau debit airnya kecil, sedang pada musim penghujan debitnya besar sampai melimpah, sehingga dapat merusak daerah lahan sekitarnya. Demikian pula keadaan basin kali Madiun, dan untuk penanggulangannya maka dibangunnya suatu bendungan yaitu bendungan Bendo pada aliran kali Ngindeng, yang sekaligus berfungsi pembangkit tenaga listrik.

Sesuai dengan latar belakang dibangunnya bendungan Bendo yang telah diuraikan diatas, maka permasalahan yang perlu dirumuskan sebagai bahan pembahasan tugas akhir ini adalah :

1. Pemilihan letak bendungan
2. Analisa hidrologi
3. Analisa sedimentasi

4. Analisa pemanfaatan air
5. Dimensi bendungan
6. Analisa ekonomi
7. Uraian mengenai dampak lingkungan

#### 1.5. Ruang lingkup pembahasan

Dari permasalahan yang timbul seperti tersebut diatas dan juga didukung dengan data yang ada, maka permasalahan yang dibahas adalah :

- Study alternatif dams site dan type bendungan

Pada study ini akan ditentukan letak dams site dan type bendungan yang dipakai bila ditinjau berdasarkan pertimbangan geologi dan topografi.

- Analisa hidrologi

Pada study ini secara garis besar digunakan untuk memperoleh gambaran besarnya debit rencana.

- Analisa sedimentasi

Pada saat ini dapat digunakan untuk menentukan jumlah sedimen yang masuk kedalam waduk dan untuk memperkirakan umur dari bendungan.

- Analisa pemanfaatan air

Pada analisa ini dapat dibedakan menjadi 2 bagian :

1. Pemanfaatan air untuk irigasi
2. Pemanfaatan air untuk tenaga listrik

- Study rencana bendungan meliputi type bendungan, lebar mercu, tinggi bendungan, bangunan pengelak, bangunan pelimpah dan analisa stabilitas tubuh bendungan.
- Study analisa ekonomi, pada bagian ini membahas tentang keuntungan dari pembangunan bendungan bila dibandingkan dengan manfaat yang di dapat.
- Uraian mengenai dampak lingkungan

Pada masalah analisa mengenai dampak lingkungan, hanya diuraikan secara garis besar mengenai dampak yang timbul dengan adanya pembangunan bendungan Bendo.



NGREJENG

Slugan

Magelang

Magelang

Magelang

Magelang

SOLO

Yogyakarta

4° 15' E

Sukoharjo

Kartasura

Kartasura

Kartasura

Kartasura

Kartasura

Sarangani

Sarangani

Sarangani

Wongai

Wongai

Wongai

Wongai

Wongai

Wongai

Salurano

Salurano

Salurano

Salurano

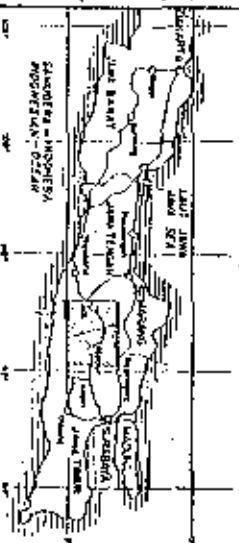
Salurano

Salurano

1000

1000

# PETA PETUNJUK 7. KEY MAP



0 100 200 300 400 500m

## KETERANGAN LEGEND

- 1. LINTAS DARAT UTARA  
Jalur Jalan Raya
- 2. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 3. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 4. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 5. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 6. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 7. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 8. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 9. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 10. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 11. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 12. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 13. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 14. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 15. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 16. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 17. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 18. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 19. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 20. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 21. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 22. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 23. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 24. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 25. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 26. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 27. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 28. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 29. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 30. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 31. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 32. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 33. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 34. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 35. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 36. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 37. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 38. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 39. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 40. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 41. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 42. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 43. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 44. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 45. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 46. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 47. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 48. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 49. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 50. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 51. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 52. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 53. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 54. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 55. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 56. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 57. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 58. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 59. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 60. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 61. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 62. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 63. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 64. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 65. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 66. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 67. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 68. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 69. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 70. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 71. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 72. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 73. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 74. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 75. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 76. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 77. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 78. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 79. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 80. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 81. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 82. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 83. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 84. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 85. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 86. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 87. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 88. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 89. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 90. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 91. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 92. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 93. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 94. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 95. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 96. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 97. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 98. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 99. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan
- 100. LINTAS DARAT  
Jalur Jalan

0 4 8 12 16 20km

DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

ele-nk

DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU

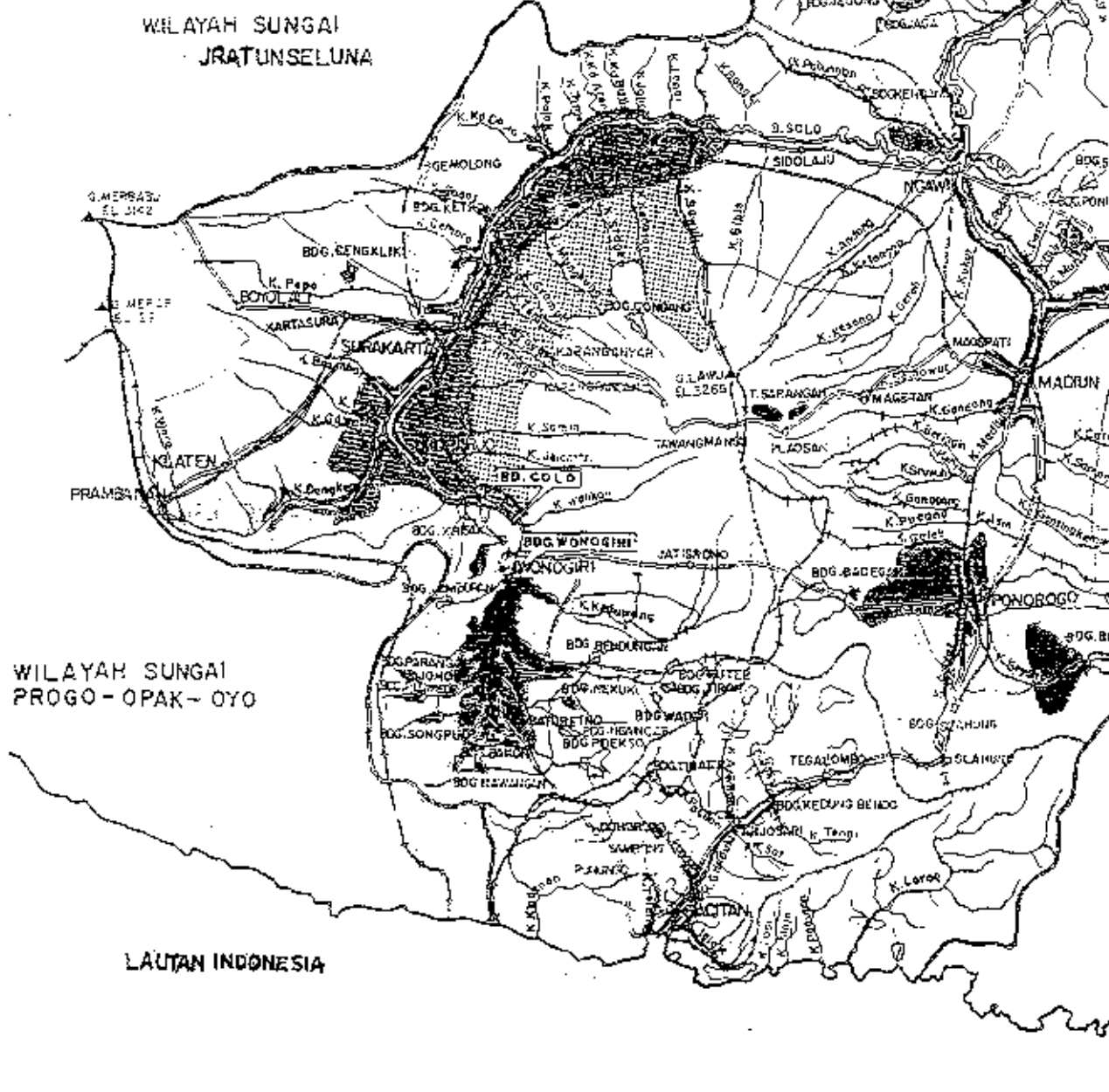
DEKATONG PUSKASIA JAWA BARU  
PUSKASIA JAWA BARU







# RENCANA INDUK PENGEMBANGAN WILAYAH SUNGAI BENGAWAN SOLO



## B A B II

### DATA TEKNIS DAN PEMILIHAN TYPE BENDUNGAN

#### 2.1. UMUM

Pada perencanaan bendungan Bendo diperlukan beberapa data yang nantinya akan menunjang dalam perencanaan teknisnya, yang mana data tersebut didapat dari hasil ketelitian survey dan investigasi. Dengan semakin banyak data yang dikumpulkan dari hasil survey dan investigasi, maka akan semakin teliti dan akan sangat membantu dalam perencanaan selanjutnya, sehingga dihasilkan suatu final design yang komplit dan mudah pelaksanaannya.

Kegiatan dari survey dan investigasi tersebut antara lain meliputi :

- Pemetaan
- Meteorologi dan Hidrologi
- Geologi
- Mekanika tanah

Berdasarkan data yang betul-betul lengkap serta dengan suatu analisa teknis, maka akan dapat ditentukan dengan mantap pemilihan letak dan type bendungan yang paling baik serta efektif. Dimana masalah yang paling penting dalam suatu pemilihan letak dan type bendungan yaitu penyelidikan

terhadap bahan-bahan yang akan digunakan sebagai material tubuh bendungan maupun keadaan geologi pada calon tubuh bendungan.

Dalam kaitan dengan hal tersebut diatas, maka ada beberapa aspek penting yang perlu dipelajari dalam penentuan letak dan type bendungan yaitu :

- Keadaan daerah sekitar tempat kedudukan calon bendungan tersebut, apakah termasuk daerah yang stabil/labil jika ditinjau dari segi keadaan bendungan terhadap gaya gempa.
- Jika peninjauan didasarkan pada keadaan topografi, maka pada alur sungai yang dangkal tapi lebar banyak dipilih bendungan type urugan. Sebaliknya pada alur sungai yang dalam tetapi sempit akan lebih menguntungkan jika dipilih bendungan beton.
- Daya dukung batuan pondasi  
Bahan utama yang harus dipikul oleh pondasi adalah berat tubuh bendungan dan tekanan hidrolis dari air waduk.
- Diusahakan agar pemilihan dan penyelidikan bahan untuk tubuh bendungan sedemikian rupa sehingga secara kualitas dan kuantitas dapat digunakan yang mungkin terdapat di sekitar tempat kedudukan calon bendungan.

## 2.2. Pemetaan

Pekerjaan pemetaan topografi ini digunakan untuk

### 2.3.1. Data Curah Hujan

Data curah hujan di daerah aliran sungai Ngindeng ini dipakai data dari 3 stasiun yaitu Stasiun Poedak, Stasiun Sokoo, dan Stasiun Sawoo. Dengan adanya data curah hujan tersebut dapat diketahui atau diperhitungkan besarnya curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu.

Data curah hujan ini merupakan data yang paling fundamental dalam perencanaan pembangunan suatu Bendungan Bendo, sehingga diperlukan data yang lengkap. Untuk perencanaan bendungan Bendo ini digunakan data curah hujan sebanyak 26 tahun yaitu periode 1963-1988 dari ketiga stasiun pencatat hujan.

### 2.3.2. Data Debit

Analisa debit sungai berguna untuk menaksir air permukaan yang tersedia untuk pengairan guna menambah kebutuhan air irigasi. Selain itu digunakan pula untuk menentukan analisa debit banjir rencana yang dipakai dalam mendesign bangunan pelimpah, intake dan tubuh bendungan sendiri. Data debit yang ada di daerah aliran sungai Ngindeng didapat dengan mengadakan pengukuran dan pencatatan tinggi muka air yang dilakukan secara otomatis. Pengukuran debit tersebut dilakukan pada

sungai Keyang dengan nama stasiunnya pos Ngindeng selama 26 tahun.

### 2.3.3. Data Sedimentasi

Data sedimen ini harus diperhitungkan di dalam perencanaan suatu bendungan, yang mana dengan data ini dapat ditentukan besarnya kapasitas mati (Dead Storage) dan umur waduk yang akan direncanakan.

Dalam hal ini, untuk menentukan besarnya sedimen yang ada pada bendungan Bendo telah dilakukan pengambilan contoh sedimen pada sungai Ngindeng. Pengambilan contoh sedimen ini terdiri dari contoh suspensi load yang dinyatakan dalam miligram per liter ( mg/l ).

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses sedimentasi di daerah pengaliran sungai adalah :

- a. Cekungan areal daerah pengaliran
- b. Kondisi geologi daerah pengaliran
- c. Kondisi topografi
- d. Kondisi meteorologi
- e. Karakteristik waduk

### 2.3.4. Data Klimatologi

Data iklim di daerah penelitian diambil dari

stasiun Jiwan Madiun yang meliputi data :

- Suhu udara
- Kecepatan angin
- Kelembaban udara
- Penguapan
- Lamanya penyinaran

Dari data yang diperoleh pada stasiun iklim Jiwan - Madiun selama tiga tahun yaitu 1976, 1977 dan 1978 sehingga didapatkan rata-rata pertahunnya adalah :

- a. Temperatur maksimum yang terjadi berkisar  $34,5^{\circ}\text{C}$ , sedangkan temperatur minimum berkisar  $16^{\circ}\text{C}$ .
- b. Kecepatan angin rata-rata adalah 1,74 m/dt.
- c. Kelembaban udara maksimum yang terjadi berkisar antara 89,8 % - 90,2 %, sedangkan kelembaban udara minimum berkisar antara 44,3 % - 49,6 %.
- d. Penguapan rata-rata maksimum sebesar 137 mm, sedangkan penguapan minimum 125,4 mm.

## 2.4. Topografi dan Geologi

### 2.4.1. Topografi

Rencana bendungan Bendo ini berlokasi pada lembah sungai Ngindeng kira-kira 14 km dari arah selatan kota Ponorogo dan mempunyai luas daerah pengaliran  $131,43\text{ km}^2$ . Aliran sungai Ngindeng berasal

dari sebelah selatan gunung Wilis yang mengalir kearah barat daya sampai kearah barat yang berjarak 30 km, kemudian aliran sungai tersebut masuk dan bertemu dengan sungai Sawoo dari arah selatan yang dinamakan sungai Keyang dan bertemu dengan kali Madiun setelah mengalir sepanjang 10 km.

Bagian hilir dari aliran Sungai Ngindeng ini dibatasi oleh : sebelah selatan dari gunung Wilis berbentuk lereng yang landai dan disebelah utara berbentuk lereng yang curam. Dimana rencana dari tampungan bendungan Bendo ini membentang sampai berjarak 3 km dan pada aliran sungai Ngindeng mempunyai kedalaman 100 m dan lebar dasarnya antara 50 - 100 m. Bagian kanan dari sungai Ngindeng dibentuk dari susunan batuan karang yang kokoh, sedangkan bagian kiri dari sungai Ngindeng berlereng curam dan mempunyai kemiringan antara  $30^{\circ}$  -  $40^{\circ}$ .

Sedangkan rencana dasar dari bendungan Bendo ini terletak kira-kira 700 m di bagian hilir dari pertemuan sungai Ngindeng dan sungai Kokok. Aliran sungai Ngindeng sendiri mempunyai bentuk yang berbelok-belok mulai dari arah barat laut sampai ke barat daya dan menyempit pada daerah sekitar damsited. Dasar sungai pada bagian yang menyempit mempunyai elevasi 150 m dan

lebarnya antara 20 sampai 70 m.

#### 2.4.2. Geologi

##### A. Penyelidikan Geologi

Penyelidikan geologi teknik pada daerah bendungan Bendo adalah untuk mendapatkan data serta mengetahui kondisi batuan yang ada dipermukaan maupun dibawah permukaan, terutama mengenai sifat fisik dan tekniknya yang bertujuan untuk menunjang dalam perencanaan bendungan Bendo.

Pada penyelidikan geologi pada bendungan Bendo ini dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

##### 1. Penyelidikan lapangan

Penyelidikan di lapangan dapat dilakukan dengan beberapa hal antara lain meliputi :

##### - Bore Hole

Pekerjaan pemboran ini dilakukan disekitar daerah rencana bendungan sebanyak 15 lubang yang kedalamannya berbeda-beda mulai dari 20,24,40,50,60,66,67 sampai kedalaman maksimum 80, kemudian dilakukan test tekanan air dilakukan setiap interval kedalaman 3 m.

##### - Test Pits

Untuk mendapatkan data mengenai kualitas dan



kwantitas material bahan timbunan dilakukan pembuatan sumur uji untuk mengambil contoh tanah di daerah sekitar bendungan sebanyak 12 buah. Untuk pengambilan contoh tanah tersebut dilakukan pada kedalaman yang bervariasi mulai dari kedalaman 1 m sampai 7,8 m, yang terletak disebelah kiri dan kanan dari damsitedengan elevasi puncaknya mulai dari + 152,6 sampai + 190,5. Setelah contoh tanah tersebut diambil, maka untuk mengetahui mutu dari tanah tersebut dapat dilakukan pengujian dilaboratorium.

## 2. Penyelidikan Laboratorium

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dari tanah, pasir dan batuan, sedangkan jenis pengujian tersebut meliputi : kadar air, berat jenis, konsolidasi, permeabilitas, analisa butir batuan, water absorpsi dll.

### B. Morfologi

Rencana bendungan Bendo terletak di sebelah barat daya dari kaki bukit gunung Wilis-Dorowati. Tampilan dari bendungan itu sendiri dibatasi oleh suatu garis yang memisahkan dua area dengan gambaran morfologi yang berbeda.

Morfologi pada sisi sebelah utara dari perbatasan tersebut yang mempunyai karakteristik terdiri dari batuan muda, limnovolcanik deposit, lunak dan mudah terkikis dengan kemiringan kira-kira  $5^{\circ}$ . Sebaliknya, sebelah selatan terdiri dari batuan volcanik. Letak Damsite tersebut kira-kira 250 m di bagian hulu dari lembah sungai dengan dasar sungai yang sempit yang membelok dari arah tenggara sampai barat daya. Disisi sebelah kiri dari ujung bendungan sering mengalami erosi, hal ini disebabkan batuan yang terbentuk pada bagian tersebut sudah mengalami pelapukan.

### C. Stratigrafi

- a. Volcanic breccia adalah batuan yang berwarna kelabu sampai berwarna hijau tua, agak keras dan kadang-kadang berubah terus-menerus sepanjang waktu. Sebagian batuan andesit berubah-ubah dari pasir dengan ukuran 80 cm yang bersudut tajam dan dapat dengan mudah mengikat bahan pasir yang halus.

Lahar yang mempunyai ketebalan diatas 15 m, pejal dan sangat keras banyak ditemukan pada lapisan bagian bawah dari batuan breccia, sedang bagian

tengahnya terdiri dari limestone yang meliputi Calcareouse layer.

- b. Tuff breccia yang dihasilkan dari hasil letusan gunung Wilis-Dorowati yang mempunyai karakteristik keras, dengan ukuran batuan andesit yang tidak lebih dari 10 cm, berwarna hijau kecoklat-coklatan.
- c. Lake dan endapan sungai terdiri dari pasir halus, batu dan batuan keras yang berada di sepanjang lembah sungai
- d. Tuff yaitu material tuff ini mempunyai berat jenis yang kecil sebab batuan tersebut tidak dipadatkan dan terdiri dari batuan yang bisa mengendap.
- e. Alluvial andesit terdiri dari partikel lumpur sampai batu yang ditemukan didasar sungai. Endapan colluvial terutama batuan besar dilepaskan dari batuan dasar yang membentang sepanjang bagian bawah dari kemiringan bukit dan diatas sisa lapisan permukaan dari tebing sungai terutama susunan batu.

## 2.5. Material Bendungan

Material yang digunakan untuk bendungan adalah masalah yang cukup penting, terutama masalah pemilihan kualitas

material dan jumlah material yang mencukupi berada di sekitar lokasi bendungan dan mengenal sifat-sifat kimia, struktur maupun sifat fisiknya dari material tersebut dapat dites di laboratorium. Sedangkan untuk melakukan penafsiran kebutuhan jumlah material dilakukan pengeboran dan pengamatan lapangan.

Setelah dilakukan survey lapangan maka dapat disimpulkan bahwa : kebutuhan material pasir, clay, dan batu dapat diambil disekitar lokasi bendungan, karakteristik material yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

- Untuk berat jenis material

1. material inti	$\gamma_{\text{wet}} = 1,8 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 2,0 \text{ t/m}^3$
2. Filter	$\gamma_{\text{wet}} = 1,9 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 2,1 \text{ t/m}^3$
3. Drain material	$\gamma_{\text{sat}} = 2,1 \text{ t/m}^3$
4. Earth material	$\gamma_{\text{wet}} = 2,0 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 2,1 \text{ t/m}^3$
5. Endapan sungai	$\gamma_{\text{sat}} = 2,1 \text{ t/m}^3$

- Sudut geser dalam dan kohesi

1. Material inti	$\phi = 15^\circ$ $c = 2,5 \text{ t/m}^2$
------------------	--

2. Filter	$\phi = 34^{\circ}$
3. Drain material	$c = 0$
4. Earth material	$\phi = 38^{\circ}$
	$c = 0$
5. Endapan sungai	$\phi = 32^{\circ}$
	$c = 0$

## 2.6. Penentuan DamSite

Pemilihan letak as main dam pada perencanaan bendungan harus mempunyai persyaratan teknis sebagai berikut :

### - Persyaratan topografi

Lokasi as dam harus berada pada penyempitan 2 buah tebing

### - Persyaratan geologi dan mekanika tanah

Keadaan geologi sekitar lokasi as dam harus memenuhi persyaratan teknis, didalam hal ini menyangkut :

1. Koefisien permeabilitas batuan harus kecil.
2. Tebing harus sebagai abutment yang baik dan kuat.
3. Keadaan geologi tanah untuk pondasi dam harus baik.

Untuk mendapatkan damsité yang menguntungkan dengan demikian diadakan seleksi damsité pada suatu tempat, yaitu :

### 1. Alternatif I

- Pada pemilihan letak damsité untuk alternatif I ini terletak dibagian upstream dari pertemuan sungai Ngindeng dan sungai Kokok yang berjarak 700 m.

Pada dam site ini deposit river mempunyai ketebalan  $\pm$  6 m yang terdiri dari pasir dan batu padas yang tidak terkonsolidasi. Untuk sebelah kanan pada bagian atas, terdiri dari breccia volcanic yang berupa material limestone dan accous sand secara berselang-seling dan diantaranya sudah mengalami pelapukan dan mempunyai koefisien permeabilitas  $10^{-3}$  sampai  $10^{-4}$ . Pada proses dari batuan tersebut akan menjadi tanah berbutir halus yaitu lempung yang bercampur dengan material lain yang berukuran halus seperti lumpur dan pasir, serta mempunyai ketebalan  $\pm 10$  m. Mengingat sangat tebalnya material yang berkondisi jelek tersebut dan bila dalam pelaksanaan konstruksi nanti hanya diadakan penggalian pada material lapuk saja, maka perbaikan pondasi dengan grouting kemungkinan kurang efisien. Sedangkan pada sebelah kiri abutment batuan breccia volcanic tidak begitu tebal yang terdiri dari tuffaceous sand yang kompak.

Pada sedimen volcanic ini sering terdapat sisipan batuan dengan kondisi tidak baik dan lapuk dengan variasi ukuran butiran halus. Dari hasil penyelidikan pada damsite untuk alternatif I terdapat problema yang cukup besar dan sulit untuk mengadakan perbaikan pondasi di bagian kanan abutment yang terdiri dari

sedimen volcanic muda.

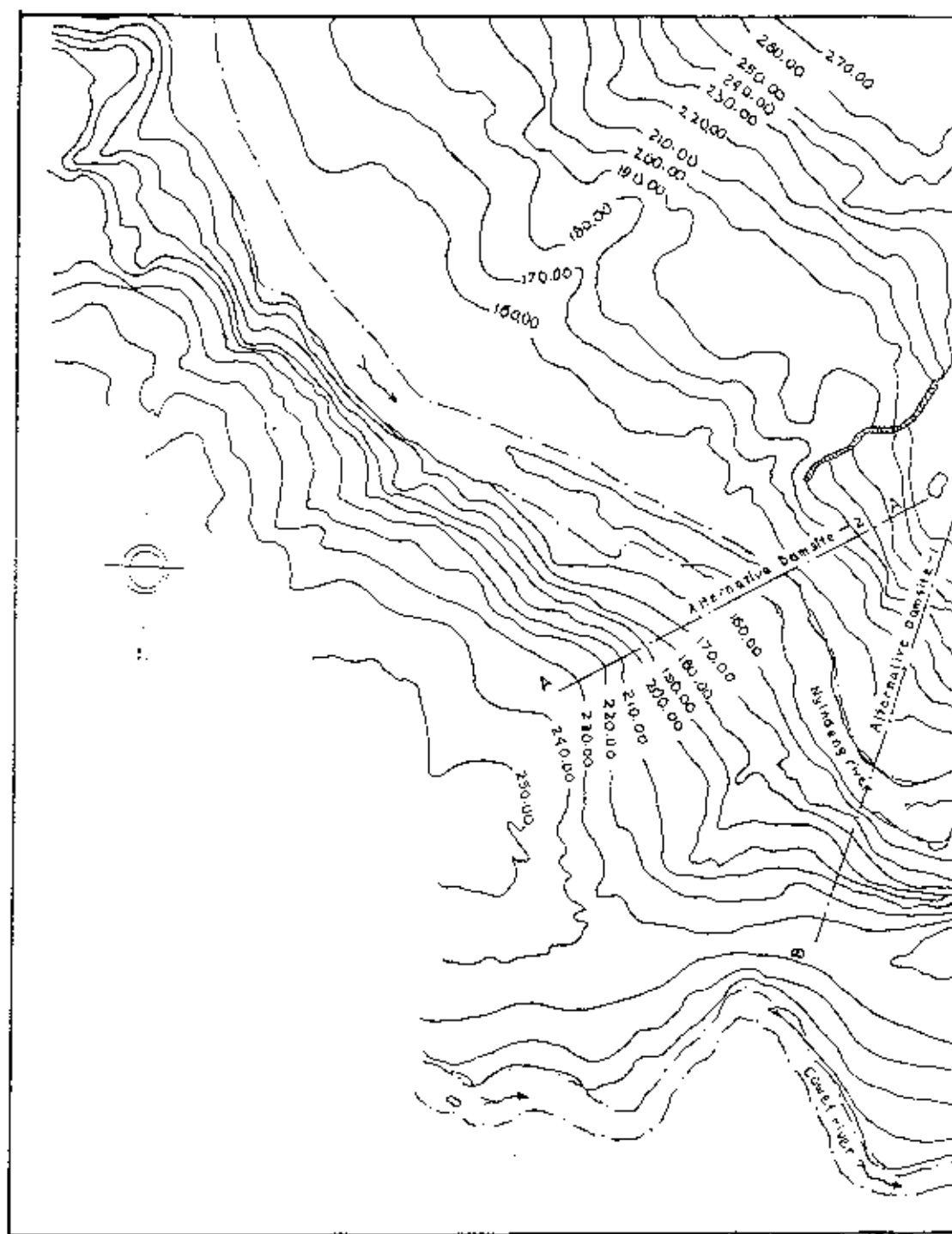
## 2. Alternatif II

Letak dam site alternatif II ini berjarak 200 m dari upstream alternatif I. Pada alternatif dam site ini, river deposit (endapan sungai) lebih dangkal bila dibandingkan dengan alternatif I, yang terdiri dari pasir dan andesit gravel yang tidak terkonsolidasi. Lembah sungai untuk alternatif II ini mempunyai lembah yang sempit dengan lereng curam sehingga sangat cocok untuk letak dam site.

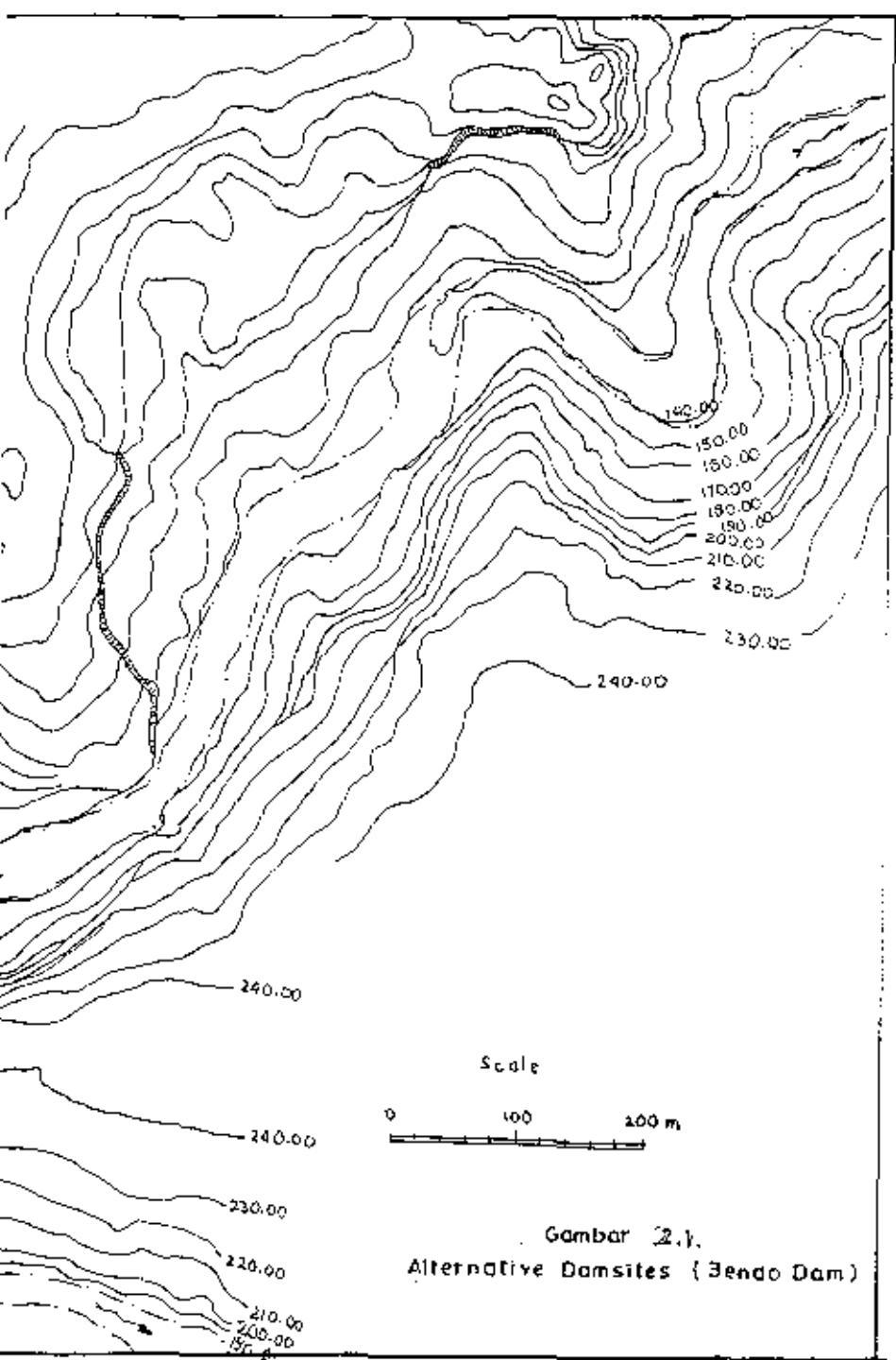
Pada sebelah kanan dari abutment di bagian atas terdiri dari lapisan breccia volcanic dan material limestone. Adanya tanah pelapukan batuan lebih tua, merupakan petunjuk adanya batuan yang tidak selaras, sedangkan sedimen volcanic ini pada bagian atas telah mengalami pelapukan menjadi lempung.

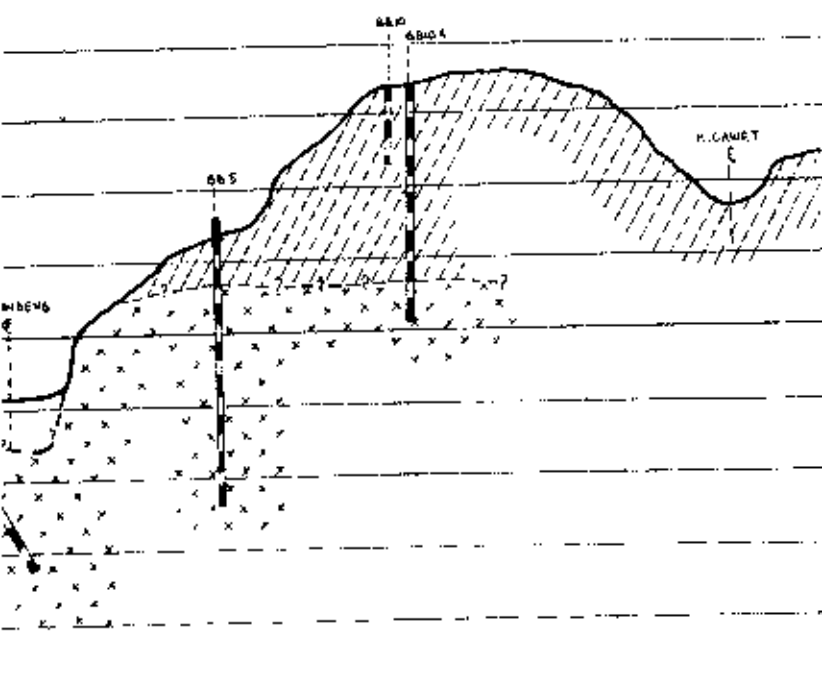
Batuan yang terdapat dibagian bawah adalah limestone, yang dapat dibedakan :

- Hard limestone adalah limestone dengan kondisi yang dapat baik.
- Fragmentasi limestone, adalah limestone dengan kondisi jelek.
- Grey limestone adalah limestone dengan warna abu-abu







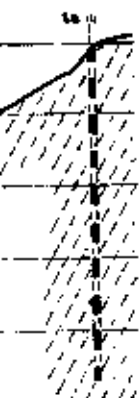






**KETERANGAN  
LEGEND**

- |   |   |
|---|---|
|  | Strata B. (Gambut)<br>Alluvial B. (Gambut)      |
|  | Strata, unconsolidated<br>Unconsolidated Strata |
|  | Strata, unconsolidated<br>Unconsolidated Strata |
|  | Strata B. (Gambut)<br>Alluvial B. (Gambut)      |



**GAMBAR 2.3.**

...  
...  
...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

...  
...  
...

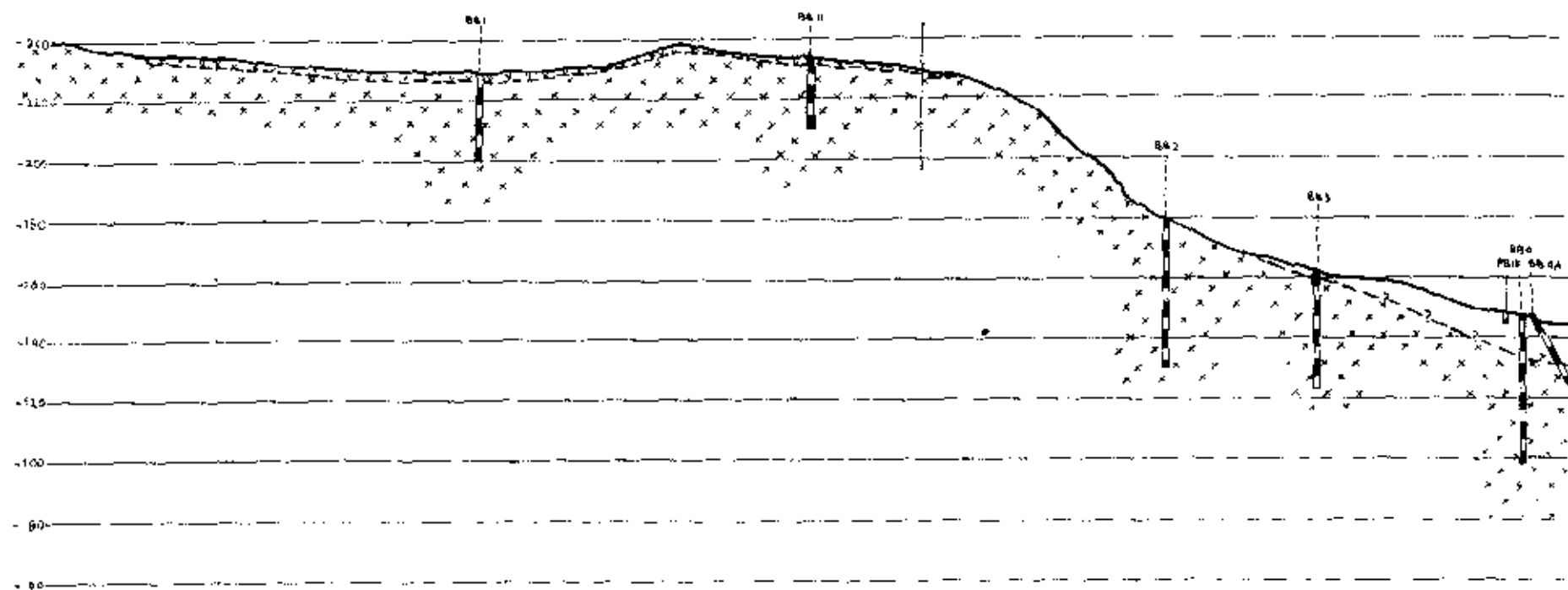
...  
...  
...

...  
...  
...

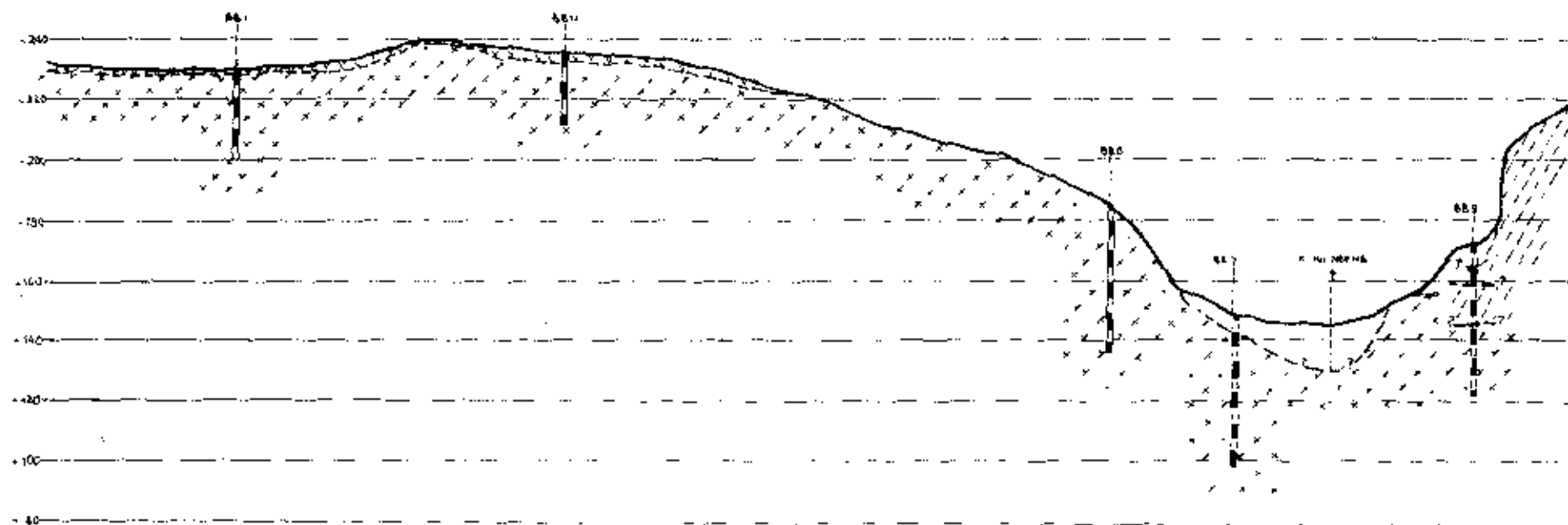
# POTONGAN PROFILES

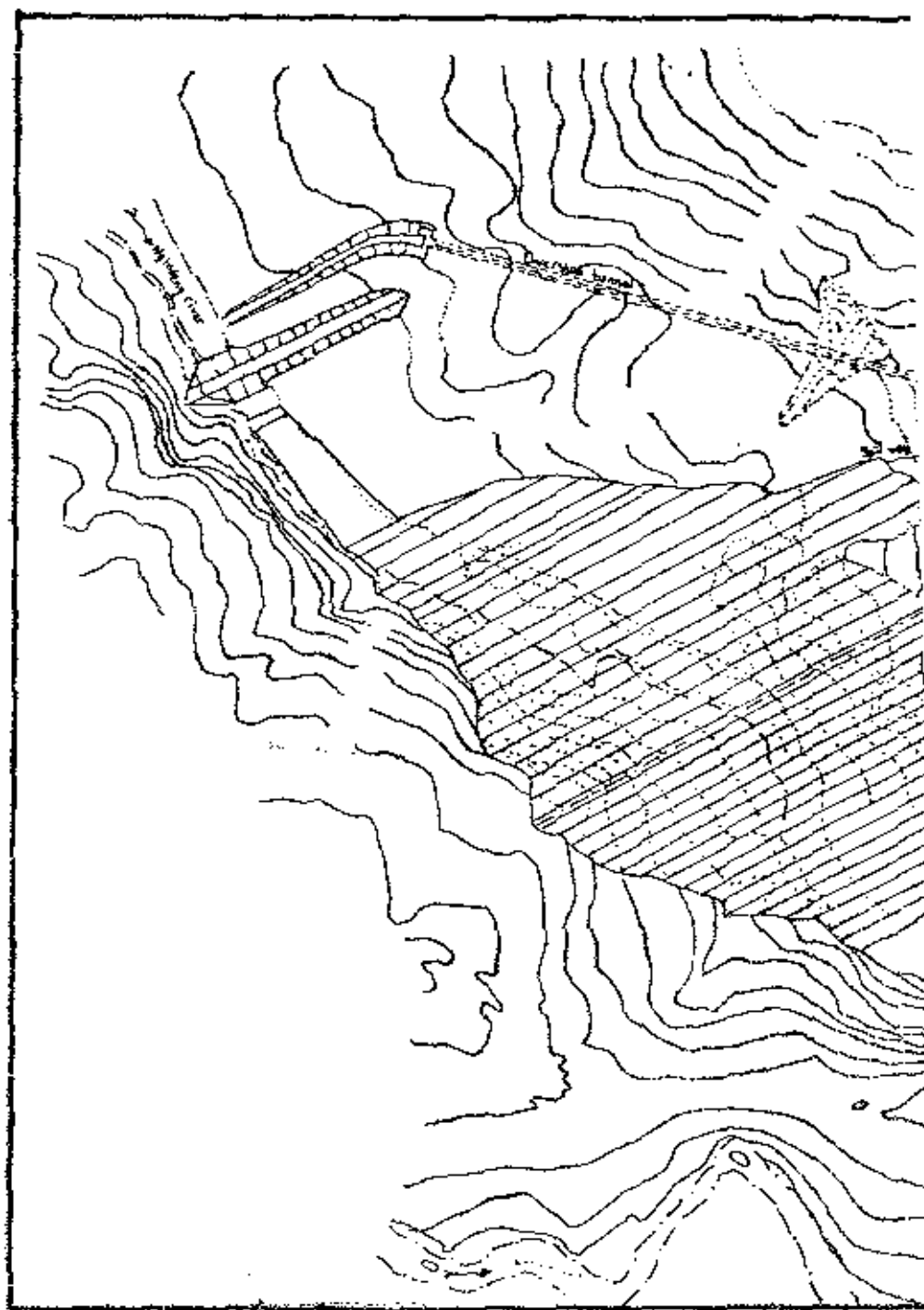
0 20 40 60 80 100

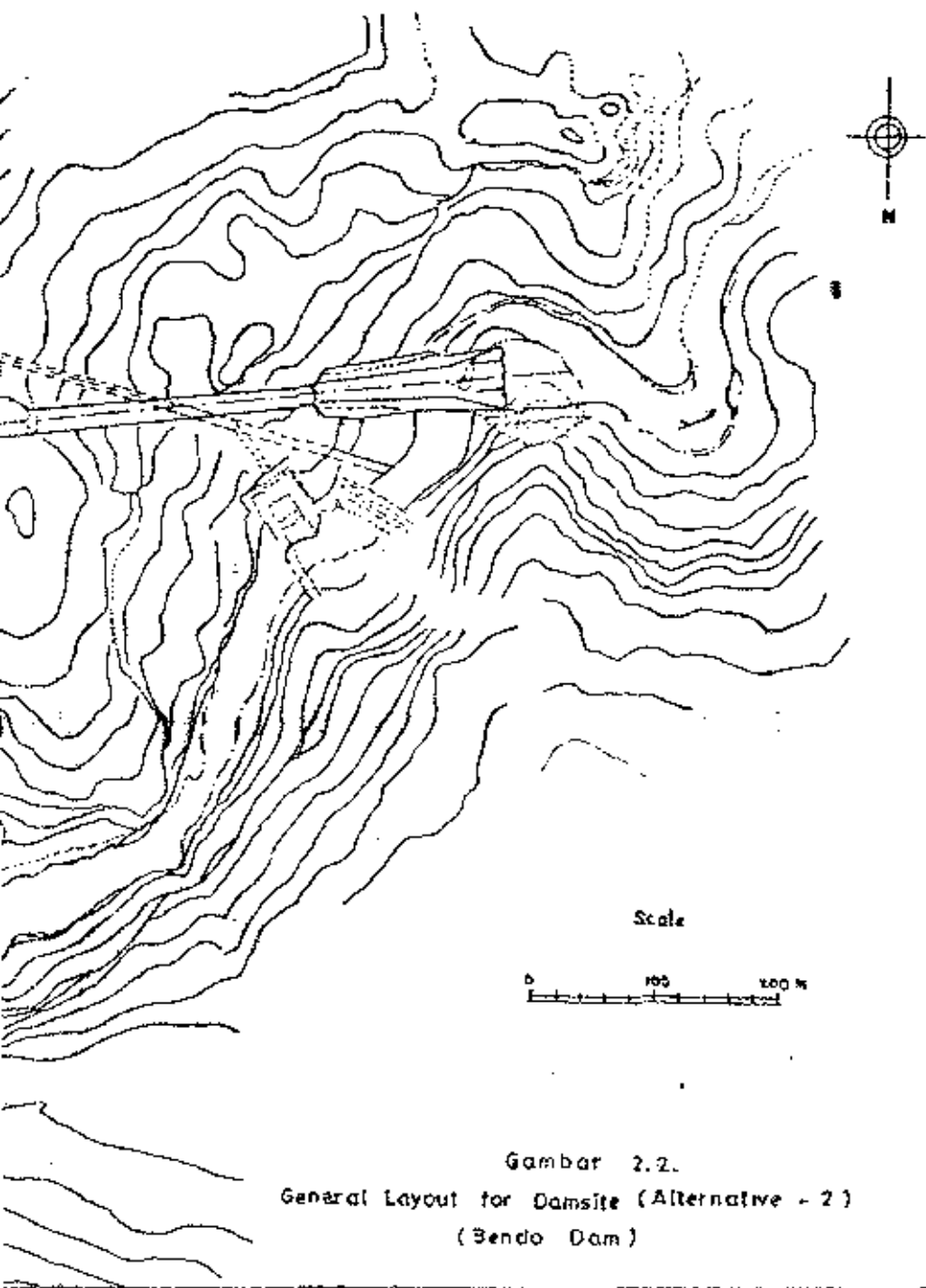
A — A



B — B







Gambar 2.2.  
General Layout for Damsite (Alternative - 2)  
(Bendo Dam)

## 2.7. Penentuan Jenis Bendungan

Alternatif jenis bendungan dapat dipilih berdasarkan keadaan topografi, geologi, bentuk penampang sungai, daya dukung lapisan dasar untuk pondasi serta tersedianya material untuk tubuh bendungan.

Pondasi pada rencana bendungan Bendo ini terdiri dari Miocene volcanic breccia yang susunan utamanya meliputi andesit volcanic breccia pada lereng sebelah kiri dan di bawah endapan sungai, sedangkan hasil volcanic batuan muda pada umur batuan pleistocene terdiri dari tuffaceous silt, sandy tuff dan batuan kapur yang terdapat di lereng sebelah kanan.

Untuk batuan Miocene tuff breccia ini mempunyai koefisien deformasi dan koefisien elastis besarnya antara  $3 - 5 \text{ kg/cm}^2$  dan  $5 - 10 \text{ kg/cm}^2$  untuk keadaan batuan yang biasa dan untuk batuan yang kuat mempunyai harga sebesar  $10 \text{ kg/cm}^2$  dan  $20 \text{ kg/cm}^2$ . Kemudian perkiraan untuk besarnya nilai  $N$ , koefisien deformasi dan sudut geser untuk Sandy tuff dan tuff breccia adalah sebesar  $30-50$ ,  $500-600 \text{ kg/cm}^2$  dan  $35-40^\circ$  untuk lapisan lunak yang dipadatkan, sedangkan yang mempunyai harga di atas  $60$ ,  $3000 \text{ kg/cm}^2$  serta  $45^\circ$  untuk lapisan biasa yang dipadatkan.

Berdasarkan hal-hal tersebut diatas, pembangunan bendungan Bendo direncanakan dengan menggunakan bendungan

yang ringan dan tidak begitu luas serta mempunyai kandungan pasir yang cukup dominan.

Dari hasil penyelidikan pada alternatif II dapatlah disimpulkan bahwa batuan kapur bawah tanah yang cukup mendominasi adalah fragmentasi limestone. Sedangkan pada bagian abutment sebelah kiri terbentuk dari batuan yang cukup keras hasil pemadatan, sedangkan pada dasar sungai mengandung lapisan alluvial dan colluvial tidak terlalu tebal.

Ternyata alternatif II mempunyai kondisi yang lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan alternatif I, terutama mengenai topografi dan kondisi batuan sedimen volcanic pada bagian kanan abutment relatif lebih tipis.

Dari kedua alternatif tersebut maka dipilih alternatif II sebagai penentuan letak dams site, karena lebih menguntungkan bila ditinjau dari kondisi topografi dan geologi. Untuk mengetahui keadaan kedua alternatif tersebut dapat dilihat pada gambar berikut gambar 2.1, 2.2 dan 2.3.

urugan dengan inti ditengah. Apabila bendungan tersebut di bangun dengan bendungan beton yang mempunyai tegangan geser, koefisien deformasi dan koefisien elastis di atas  $30 \text{ kg/cm}^2$ ,  $5000 \text{ kg/cm}^2$  dan  $15 \text{ kg/cm}^2$ , maka tegangan yang terjadi akan melebihi dari tegangan yang diijinkan. Struktur tubuh bendungan urugan ini terdiri dari inti (core) dari lapisan kedap air yang berada ditengah, lapisan filter berada diupstream dan down stream dari inti.

Untuk material timbunan yang digunakan untuk struktur tubuh bendungan dari quarry site dan borrow pite. Material yang digunakan untuk timbunan batu diambil dari quarry site yang terletak kira-kira 1 km disebelah selatan bendungan, sedangkan material yang kedap didapat pada 2 tempat borrow area terletak pada jarak 3,5 km dan 5,5 km disebelah selatan tubuh bendungan. Untuk bahan filter didapat dari endapan sungai Sawo yang berjarak 6 km disebelah selatan dams site.



## B A B III

### ANALISA HIDROLOGI

#### 3.1. UMUM

Dalam perencanaan suatu bendungan diperlukan analisa hidrologi yang berfungsi untuk menganalisa kapasitas air yang terdapat didaerah pangaliran sungai dan menganalisa karakteristik debit banjir, musim terjadinya banjir dan periode perulangan. Dalam analisa hidrologi ini akan mencakup perhitungan antara lain :

- Analisa Curah Hujan

Didalam analisa curah hujan yang harus ditentukan terlebih dahulu adalah penentuan curah hujan rata-rata maksimum pada setiap stasiun sehingga didapatkan total curah hujan terbesar. Kemudian dengan menggunakan metode Gumbel dapat dihitung besarnya curah hujan harian rata-rata maksimum dengan periode ulang tertentu dan selanjutnya dilakukan uji kesesuaian data curah hujan dengan Smirnov Kolmogorov test. Selain itu ditentukan pula distribusi curah hujan, distribusi curah hujan efektif, koefisien daerah pengaliran serta menentukan curah hujan terbesar yang mungkin terjadi dengan persamaan dari Hersfield.

- Debit Banjir rencana

Pada perhitungan debit banjir rencana ini dimaksudkan untuk mengetahui debit terbesar pada periode ulang tertentu. Untuk menganalisanya harus dibuat hidrograf banjir yaitu dengan perhitungan hidrograf sintetis dari Snyder Aléxeyev.

- Perhitungan debit Andalan dan Analisa sedimen

Debit andalan adalah debit yang terjadi sepanjang tahun pada musim kemarau. dalam hal ini debit andalan akan dijadikan dasar untuk PLTA. Sedangkan maksud dari analisa sedimen yaitu untuk mengetahui besarnya sedimen yang terjadi selama satu tahun. Besarnya sedimentasi dari suspended load dipakai perumusan Regresi, sedangkan untuk bed load digunakan pendekatan dari Borland dan Maddock.

Sehingga diperlukan beberapa data hidrologi untuk menunjang perencanaan tersebut yaitu :

1.Data daerah pengaliran

Daerah pengaliran dan letak stasiun pencatat curah hujan dapat dilihat pada gambar 3.1.

Luas daerah pengaliran                      = 131.43 km<sup>2</sup>

Panjang alur sungai                          = 160.16 km

2.Data curah hujan

Data yang diperlukan untuk analisa hidrologi pada daerah aliran sungai Ngindeng adalah curah hujan dari

Thiessen adalah sebagai berikut :

1. Stasiun-stasiun hujan terdekat dihubungkan sehingga membentuk garis segitiga.
2. Dari tiap sisi segitiga kemudian ditarik garis sumbu.

3. Daerah hujan untuk tiap-tiap stasiun hujan dibatasi oleh sumbu sisi-sisi segitiga yang membentuk segi banyak ini disebut segi banyak Thiessen.

4. Dari tiap-tiap segi banyak Thiessen tersebut kemudian dihitung luasnya sehingga terdapat luas daerah tiap-tiap stasiun hujan dan dinyatakan dalam  $\text{km}^2$ . Luas masing-masing stasiun adalah :

- Stasiun Poedak, luas =  $40.44 \text{ km}^2$
- Stasiun Sooko, luas =  $63.52 \text{ km}^2$
- Stasiun Sawoo, luas =  $27.47 \text{ km}^2$

5. Kemudian dari hasil luasan yang didapat, maka diperoleh bobot luas terhadap luas total daerah aliran sungai untuk masing-masing stasiun dalam prosen (%). Lihat gambar 3.1.

Dari pembagian luas, maka bobot luas masing-masing stasiun adalah :

- Stasiun Poedak = 30.8 %
- Stasiun Sokoo = 48.3 %
- Stasiun Sawoo = 20.9 %

Tabel III.1. Berat bujan harian rata-rata untuk Sta Poedak

Tahun	Spesies	Sta Poedaki	Sta Sooko	Sta Sawoo	Total
		kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
1963	12.000	45	11,750	3	11,750
1964	21.000	52	11,880	42	20,260
1965	31.000	57	16,320	0,000	0,000
1966	15.000	57	16,730	40,000	16,730
1967	21.000	70	16,030	20	16,030
1968	15.000	70	16,260	4,000	16,260
1969	15.000	70	16,130	0,000	0,000
1970	11.000	45	15,092	3,000	0,000
1971	11.000	77	15,701	40,000	15,701
1972	15.000	45	14,160	40,000	14,160
1973	11.000	57	16,480	0,000	0,000
1974	21.000	67	11,244	0,000	0,000
1975	11.000	70	11,704	70,000	11,704
1976	14.000	115	30,150	30,000	16,400
1977	11.000	29	11,732	35,000	11,732
1978	11.000	51	11,735	25,000	11,735
1979	11.000	41	16,785	10,000	0,000
1980	20.000	65	16,130	0,000	0,000
1981	20.000	74	16,855	60,000	38,640
1982	11.000	55	12,360	0,000	0,000
1983	20.000	37	16,765	18,000	7,120
1984	11.000	55	17,412	20,000	0,000
1985	14.000	144	44,781	30,000	14,400
1986	15.000	100	30,800	0,000	0,000
1987	14.000	106	41,898	0,000	0,000
1988	20.000	21	24,540	20	0,000

Tabel III.2. Curah hujan harian maksimum untuk sta Sokoo

Tahun	tgl/bln	Sta Poedak	Sta Sokoo	Sta Sawoo	Total
		(mm/tgl)	(mm/tgl)	(mm/tgl)	
1967	27-09-67	15	29.704	31	43.139
1968	27-09-68	57	27.407	24	39.177
1969	11-09-69	5	27.407	5	42.094
1969	29-09-69	7	27.407	1	39.673
1969	3-10-69	7	27.501	0	27.501
1969	13-10-69	6	42.407	17	47.022
1969	21-10-69	25	47.504	40	64.048
1970	10-09-70	5	49.705	19	61.357
1970	17-09-70	7	27.501	1	27.501
1970	7-10-70	5	27.501	22	40.008
1970	22-09-70	24	49.000	17	61.000
1970	8-10-70	5	49.000	17	61.000
1970	17-09-70	11	27.501	5	27.501
1970	7-10-70	17	27.501	14	42.000
1970	17-10-70	13	27.501	22	40.000
1970	23-10-70	10	49.000	17	61.000
1970	27-09-70	5	49.000	11	61.000
1970	21-10-70	10	49.000	13	61.000
1970	14-10-70	11	27.501	10	27.501
1970	11-10-70	45	27.501	5	49.000
1970	23-10-70	21	27.501	15	49.000
1970	31-10-70	25	27.501	49	49.000
1970	19-10-70	19	27.501	5	27.501
1970	17-10-70	37	27.501	0	27.501
1970	17-10-70	15	27.501	1	27.501
1970	14-10-70	7	27.501	1	27.501

Tabel 11.1.1. Curah hujan harian maksimum di Sta Sawoo

Tgl	Curah Hujan (mm)	Sta Pongor		Sta Sawoo		Curah Hujan (mm)
		1972	1973	1972	1973	
1972	7.000	11	10.000	11	10.000	11.000
1972	17.000	12	10.000	12	10.000	11.000
1972	17.000	13	10.000	13	10.000	11.000
1972	17.000	14	10.000	14	10.000	11.000
1972	17.000	15	10.000	15	10.000	11.000
1972	17.000	16	10.000	16	10.000	11.000
1972	17.000	17	10.000	17	10.000	11.000
1972	17.000	18	10.000	18	10.000	11.000
1972	17.000	19	10.000	19	10.000	11.000
1972	17.000	20	10.000	20	10.000	11.000
1972	17.000	21	10.000	21	10.000	11.000
1972	17.000	22	10.000	22	10.000	11.000
1972	17.000	23	10.000	23	10.000	11.000
1972	17.000	24	10.000	24	10.000	11.000
1972	17.000	25	10.000	25	10.000	11.000
1972	17.000	26	10.000	26	10.000	11.000
1972	17.000	27	10.000	27	10.000	11.000
1972	17.000	28	10.000	28	10.000	11.000
1972	17.000	29	10.000	29	10.000	11.000
1972	17.000	30	10.000	30	10.000	11.000
1972	17.000	31	10.000	31	10.000	11.000
1972	17.000	32	10.000	32	10.000	11.000
1972	17.000	33	10.000	33	10.000	11.000
1972	17.000	34	10.000	34	10.000	11.000
1972	17.000	35	10.000	35	10.000	11.000
1972	17.000	36	10.000	36	10.000	11.000
1972	17.000	37	10.000	37	10.000	11.000
1972	17.000	38	10.000	38	10.000	11.000
1972	17.000	39	10.000	39	10.000	11.000
1972	17.000	40	10.000	40	10.000	11.000
1972	17.000	41	10.000	41	10.000	11.000
1972	17.000	42	10.000	42	10.000	11.000
1972	17.000	43	10.000	43	10.000	11.000
1972	17.000	44	10.000	44	10.000	11.000
1972	17.000	45	10.000	45	10.000	11.000
1972	17.000	46	10.000	46	10.000	11.000
1972	17.000	47	10.000	47	10.000	11.000
1972	17.000	48	10.000	48	10.000	11.000
1972	17.000	49	10.000	49	10.000	11.000
1972	17.000	50	10.000	50	10.000	11.000
1972	17.000	51	10.000	51	10.000	11.000
1972	17.000	52	10.000	52	10.000	11.000
1972	17.000	53	10.000	53	10.000	11.000
1972	17.000	54	10.000	54	10.000	11.000
1972	17.000	55	10.000	55	10.000	11.000
1972	17.000	56	10.000	56	10.000	11.000
1972	17.000	57	10.000	57	10.000	11.000
1972	17.000	58	10.000	58	10.000	11.000
1972	17.000	59	10.000	59	10.000	11.000
1972	17.000	60	10.000	60	10.000	11.000
1972	17.000	61	10.000	61	10.000	11.000
1972	17.000	62	10.000	62	10.000	11.000
1972	17.000	63	10.000	63	10.000	11.000
1972	17.000	64	10.000	64	10.000	11.000
1972	17.000	65	10.000	65	10.000	11.000
1972	17.000	66	10.000	66	10.000	11.000
1972	17.000	67	10.000	67	10.000	11.000
1972	17.000	68	10.000	68	10.000	11.000
1972	17.000	69	10.000	69	10.000	11.000
1972	17.000	70	10.000	70	10.000	11.000
1972	17.000	71	10.000	71	10.000	11.000
1972	17.000	72	10.000	72	10.000	11.000
1972	17.000	73	10.000	73	10.000	11.000
1972	17.000	74	10.000	74	10.000	11.000
1972	17.000	75	10.000	75	10.000	11.000
1972	17.000	76	10.000	76	10.000	11.000
1972	17.000	77	10.000	77	10.000	11.000
1972	17.000	78	10.000	78	10.000	11.000
1972	17.000	79	10.000	79	10.000	11.000
1972	17.000	80	10.000	80	10.000	11.000
1972	17.000	81	10.000	81	10.000	11.000
1972	17.000	82	10.000	82	10.000	11.000
1972	17.000	83	10.000	83	10.000	11.000
1972	17.000	84	10.000	84	10.000	11.000
1972	17.000	85	10.000	85	10.000	11.000
1972	17.000	86	10.000	86	10.000	11.000
1972	17.000	87	10.000	87	10.000	11.000
1972	17.000	88	10.000	88	10.000	11.000
1972	17.000	89	10.000	89	10.000	11.000
1972	17.000	90	10.000	90	10.000	11.000
1972	17.000	91	10.000	91	10.000	11.000
1972	17.000	92	10.000	92	10.000	11.000
1972	17.000	93	10.000	93	10.000	11.000
1972	17.000	94	10.000	94	10.000	11.000
1972	17.000	95	10.000	95	10.000	11.000
1972	17.000	96	10.000	96	10.000	11.000
1972	17.000	97	10.000	97	10.000	11.000
1972	17.000	98	10.000	98	10.000	11.000
1972	17.000	99	10.000	99	10.000	11.000
1972	17.000	100	10.000	100	10.000	11.000

Tabel 4. Duran hujan harian maksimum rata-rata

No	Tahun	Tgl-Bln	Total ( mm )
1	1963	3-Feb	54,485
2	1964	27-Feb	50,075
3	1965	11-Mas	42,094
4	1966	14-Feb	66,950
5	1967	27-Jan	36,325
6	1968	13-Jan	67,022
7	1969	21-Mas	64,648
8	1970	12-Feb	62,535
9	1971	29-Feb	44,002
10	1972	7-Mai	45,888
11	1973	12-Mas	54,415
12	1974	3-Okt	59,864
13	1975	7-Nov	47,395
14	1976	14-Nov	72,716
15	1977	1-Apr	40,613
16	1978	21-Jul	81,772
17	1979	27-Mar	32,213
18	1980	21-Jan	50,609
19	1981	14-Jul	95,632
20	1982	4-Feb	48,106
21	1983	20-Jan	91,922
22	1984	2-Mar	61,296
23	1985	24-Mas	76,398
24	1986	2-Apr	79,114
25	1987	24-Nov	59,235
26	1988	31-Okt	64,901

Tabel III.5. Jumlah hujan harian rata-rata  
dengan Metode Sumat

No	tahun	X (mm)	X <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )
1	1981	95,632	9147,743
2	1983	91,922	8449,654
3	1978	81,772	6686,656
4	1986	79,114	6259,025
5	1976	78,716	6196,209
6	1985	76,399	5836,654
7	1968	67,022	4491,948
8	1969	66,950	4482,303
9	1973	64,648	4179,384
10	1970	64,415	4149,292
11	1984	62,553	3912,878
12	1974	61,296	3757,200
13	1987	59,864	3583,658
14	1983	59,235	3508,785
15	1979	54,455	2965,347
16	1990	52,215	2726,406
17	1964	50,609	2561,271
18	1992	50,075	2507,506
19	1975	48,168	2314,380
20	1975	47,395	2246,286
21	1972	45,888	2105,789
22	1988	44,904	2016,369
23	1971	44,002	1936,176
24	1965	42,994	1771,905
25	1977	40,613	1649,416
26	1967	36,325	1319,506
Total		1567,22	100951,689



### 3.2.2. Perhitungan curah hujan harian maksimum dengan metode Gumbel

Rumus yang digunakan :

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$X_T = \frac{1}{a} Y_t + b \quad (3.2.1)$$

$$Y_t = - \ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]$$

$$b = \bar{X} - \left( \frac{Y_n}{a} \right)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$1/a = -\frac{S}{S_n}$$

Dimana :

$\bar{X}$  = nilai rata-rata dari hasil pengamatan (mm)

$X$  = data curah hujan (mm)

$Y_n$  = parameter untuk  $n$  tahun pengamatan

$X_T$  = kemungkinan banjir untuk periode  $T$  tahun

$Y_t$  = reduced variate yang merupakan fungsi dari masa ulang  $T$

$S$  = standart deviasi dari data pengamatan

$S_n$  = standart deviasi dari parameter

$n$  = banyaknya data pengamatan

$a, b$  = koefisien korelasi

dari perhitungan didapat :

untuk  $n = 26$

$$\sum X = 1567,22$$

$$\sum X^2 = 100951,69$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{1567,22}{26} = 60,278$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{6483,015}{26-1}} = 16,103$$

Dari tabel Gumbel ( tabel 11.1, dan 11.2 ), dengan harga

$n = 26$  didapat :

$$S_n = 1,0961$$

$$Y_n = 0,5320$$

$$-\frac{1}{a} = \frac{S}{S_n} = \frac{16,103}{1,0961} = 14,691$$

$$a = 0,0681$$

$$b = 60,278 - \left( \frac{0,5320}{0,0681} \right)$$

$$= 52,466$$

Persamaan menjadi :

$$\begin{aligned} X_t &= -\frac{1}{a} \times Y_t + b \\ &= 14,691 \times Y_t + 52,466 \end{aligned}$$

misal untuk periode ulang 20 tahun :

$$Y_t = -\ln \left[ \ln \left( \frac{20}{20-1} \right) \right] = 2,9702$$

Dengan cara yang sama didapat seperti tabel III.6. berikut ini.

Tabel III.6.

No	Periode ulang	$Y_t$	$X_t$
1	10	2.2504	85,527
2	20	2.9702	96,101
3	100	4.6002	120,048
4	200	5.2958	130,207
5	500	6.2136	143,750
6	1000	6.9073	153,941

### 3.2.3. Uji kesesuaian data hujan dengan Smirnov - Kolmogorov test

Maksud dari pemeriksaan uji kesesuaian terhadap data curah hujan adalah untuk mengetahui suatu kebenaran hipotesa, dalam hal ini adalah hipotesa distribusi frekwensi Gumbel. Hujan yang jatuh selalu merupakan kejadian yang berfrekwensi, sehingga frekwensi kejadian hujan tersebut akan di analisa secara statistik. Untuk itu perlu di test apakah distribusi hujan tersebut akan mengikuti pola distribusi Gumbel, sehinggadigunakan test uji Smirnov-Kolmogorov test.

REDUCED MEAN  $Y_e$  IN GUMBEL'S EXTREME VALUE DISTRIBUTION

[illegible]REDUCED STANDARD DEVIATION  $\sigma$  IN GAMMA'S EXTREME VALUE DISTRIBUTION[illegible]

Dengan test uji ini akan dapat diketahui :

1. Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diperoleh secara teoritis.
2. Kebenaran hipotesa diterima atau ditolak.

Untuk mengadakan uji pemeriksaan uji tersebut, terlebih dahulu diadakan plotting dari data hasil pengamatan pada kertas probabilitas Gumbel dan garis durasi yang sesuai.

Plotting data dan garis durasi pada kertas probabilitas Gumbel dilakukan tahapan sebagai berikut :

1. Menyusun atau meranking kembali data curah hujan maksimum harian rata-rata tahunan dari kecil sampai yang besar.

2. Probabilitas dihitung dengan persamaan Weibull :

$$P = \frac{100m}{n+1} (\%) \quad [ 3.3 ]$$

dimana :

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut dari data seri yang telah diurut

n = Besarnya sample (jumlah data)

3. Plot data curah hujan ( $X_t$ ) dengan probabilitas (P) pada kertas probabilitas Gumbel yang disebut distribusi empiris.

4. Plot persamaan :

$$X_T = 14,695 \times Y_t + 52,446$$

Dari persamaan tersebut diatas diplotkan juga pada kertas probabilitas dari Gumbel disebut distribusi teoritis.

Dengan mensubstitusikan 2 harga  $Y_i$  maka dapat ditarik garis durasinya sebagai berikut :

$$X_T = 36,325 \longrightarrow Y_i = -1,10$$

$$X_T = 96,632 \longrightarrow Y_i = 3,00$$

5. Hubungan antara data curah hujan maksimum daerah (X1) dengan distribusi teoritis dicari probabilitas dengan cara grafis.
6. Dicari selisih probabilitas ( $\Delta$ ) yang terbesar antara probabilitas dari distribusi empiris dan distribusi teoritis.

Tabel III.9 .

Tahapan plotting data pada kertas probabilitas gumbel

No	Data $X_i$ (mm)	$P = \frac{100m}{n+1} \quad (\%)$
1	36,325	3.704
2	40,613	7.407
3	42,094	11.111
4	44,002	14.815
5	44,904	18.518
6	45,818	22.222
7	47,395	25.926
8	48,101	29.630
9	50,015	33.333
10	50,600	37.037
11	52,215	40.741
12	54,445	44.444
13	59,235	48.148
14	59,864	51.852
15	61,296	55.556
16	62,553	59.259
17	64,415	62.963
18	64,648	66.667
19	66,950	70.370
20	67,002	74.074
21	70,398	77.778
22	76,716	81.481
23	79,114	85.185
24	81,772	88.889
25	91,922	92.593
26	96,632	96.296

Untuk dapat mengetahui apakah data hujan tersebut sesuai dengan penyebaran distribusi Gumbel, maka diperhitungkan bila  $\Delta < \Delta_{\text{critis}}$  berarti hipotesa diterima atau data yang digunakan berdistribusi secara Gumbel.

Dengan diketahui banyaknya data  $n = 26$  dan ditentukan taraf signifikansi  $\alpha = 5\%$  (diambil) artinya kira-kira 5 dari tiap 100 kesimpulan yang diperoleh itu ditolak, atau 95% yakin data dapat diterima.

Dari tabel critical value ( $\Delta_{\text{cr}}$ ) yaitu tabel 3.10 untuk

$$\left. \begin{array}{l} n = 26 \\ \alpha = 5\% \end{array} \right\} \Delta_{\text{cr}} = 0,264$$

Selanjutnya hasil perhitungan dapat disusun seperti tabel 3.11, maka diperoleh perbedaan atau selisih antara distribusi empiris dan distribusi teoritis.

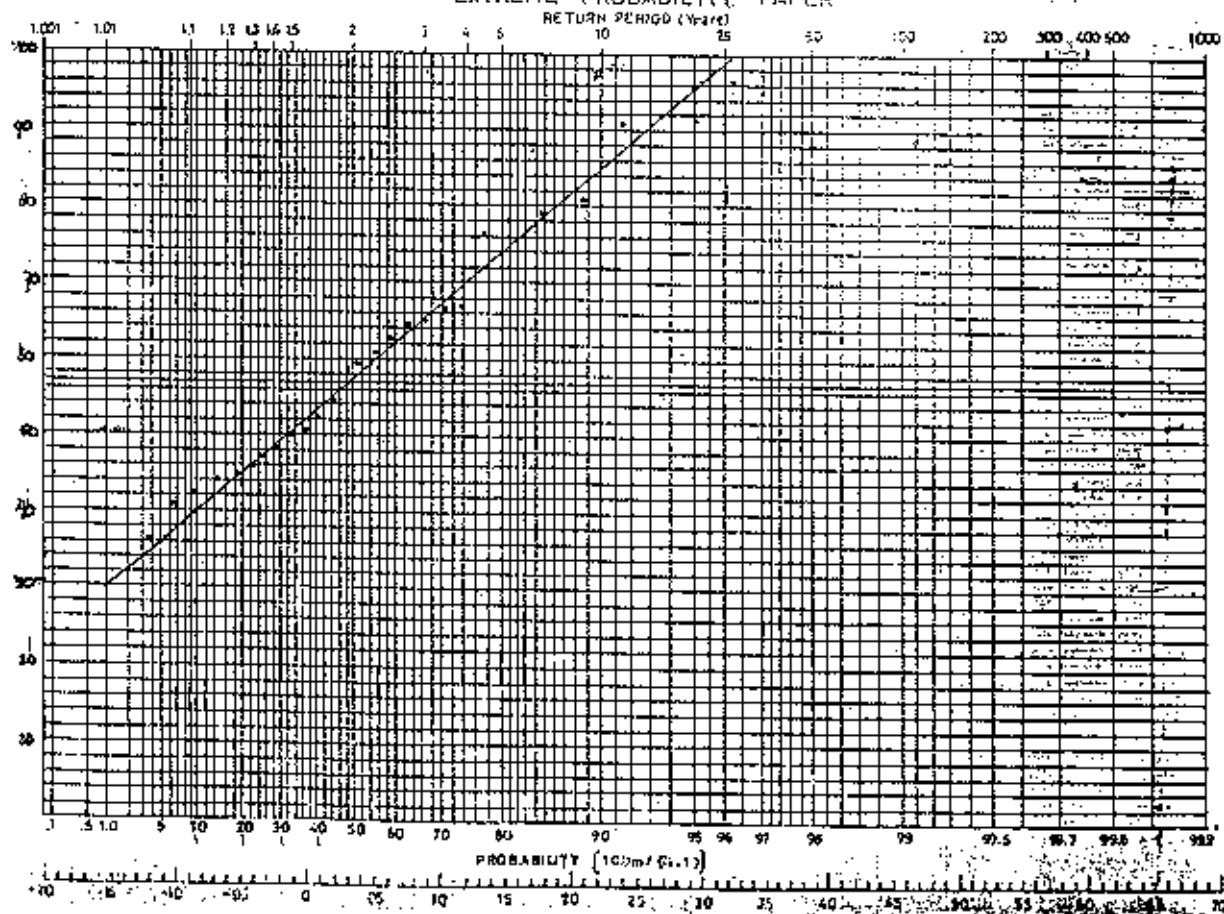


Tabel III.10 : Harga  $\Delta$  kritis ( $\Delta_{cr}$ ) Untuk Smirnov-Kolmogorov Test \*

$n \backslash \alpha$	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
$n > 50$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Sumber : M.M.A. Shakin, Statistical Analysis in Hydrology, Volume 2, 1976, Delft Netherland.

GRAFIK 31

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE WEATHER BUREAU  
EXTREME PROBABILITY PAPER

Tabel III.11.  
Perhitungan selisih probabilitas

No	Data X1 (mm)	Pro. dist empiris(%)	Pro dist teoritis(%)	D (%)
1	36,325	3.704	5,500	1,796
2	40,633	7.407	12,000	4,593
3	42,094	11.111	14,300	3,189
4	44,002	14.315	18.000	3,615
5	44,904	18.318	20.500	1,482
6	45,888	22.322	22.000	0,212
7	47,395	25.825	26,500	0,574
8	48,408	29.629	28.000	1,630
9	50,075	33.333	32.500	1,333
10	50,609	37.037	38,000	4,037
11	52,215	40.741	38,000	2,741
12	54,445	44.444	43,000	1,444
13	59,235	48.148	52,000	3,852
14	59,864	51.852	54.000	2,148
15	61,296	55.556	57.000	1,444
16	62,553	59.259	61.000	1,741
17	64,415	62.963	64,400	1,437
18	64,648	66.667	68,200	1,533
19	66,950	70.370	69,000	1,370
20	67,002	74.074	70.000	4,074
21	76,398	77.778	82,500	4,722
22	78,716	81.481	84,300	2,819
23	79,114	85.185	85,300	0,115
24	81.772	88.889	87,000	1,889
25	91.922	92.593	93,200	0,607
26	96.632	96.296	95.250	1,046

Dari melihat perbedaan ( $\Delta$ ) probabilitas antara distribusi empiris dan distribusi teoritis, maka didapat  $\Delta$  terbesar =  $0.0472 < \Delta_{cr} = 0.264$ .

Kesimpulan :

Hipotesa Gumbel dapat diterima atau data hujan terdistribusi secara Gumbel.

#### 3.2.4. Pola Distribusi Curah Hujan

Hujan yang menghasilkan banjir dengan periode ulang tertentu diperoleh dari analisa hujan rencana, sehingga dengan adanya hujan rencana tersebut, hanya akan didapat tebal hujan harian maksimum yang jatuh selama 24 jam. Dengan demikian perlu adanya distribusi menurut durasi jatuhnya, sehingga diperoleh tebal hujan dari waktu ke waktu dilakukan berdasarkan pola penyebaran hujan.

Durasi hujan yang paling mendekati waktu konsentrasi dari daerah aliran sungai Ngindeng yaitu durasi 3 jam ( dari penelitian Proyek Bengawan Solo ). Perhitungan curah hujan tiap harinya dihitung dengan metode Rasional sebagai berikut :

- Perhitungan rata-rata hujan sampai jam ke T dengan rumus :

$$R_T = R_o \times \left( \frac{3}{T} \right)^{2/3} \quad [ 3.4 ]$$

Dimana :

$R_T$  = rata-rata curah hujan dari awal sampai dengan jam ke T.

$$R_0 = \frac{R_{24}}{3}$$

T = waktu hujan dari awal sampai jam ke T.

$R_{24}$  = hujan harian efektif dalam waktu 24 jam (mm/jam).

3 = asumsi hujan terpusat selama 3 jam per hari.

Sehingga didapat perhitungan sebagai berikut :

$$R_1 = \frac{R_{24}}{3} \times \left(-\frac{3}{1}\right)^{2/3} = 0,6934 R_{24}$$

$$R_2 = \frac{R_{24}}{3} \times \left(-\frac{3}{2}\right)^{2/3} = 0,4368 R_{24}$$

$$R_3 = \frac{R_{24}}{3} \times \left(-\frac{3}{3}\right)^{2/3} = 0,3333 R_{24}$$

- Perhitungan curah hujan pada jam ke T dengan rumus

$$R_T = t \times R_t - (t-1) \times R_{(t-1)}$$

Dimana :

$R_T$  = besarnya curah hujan pada jam ke T (mm)

t = waktu hujan dari awal sampai jam ke T (jam)

$R_t$  = rata-rata curah hujan dari awal sampai dengan jam ke T (jam).

$R_{(t-1)}$  = rata-rata curah hujan dari awal sampai dengan jam ke T (jam).

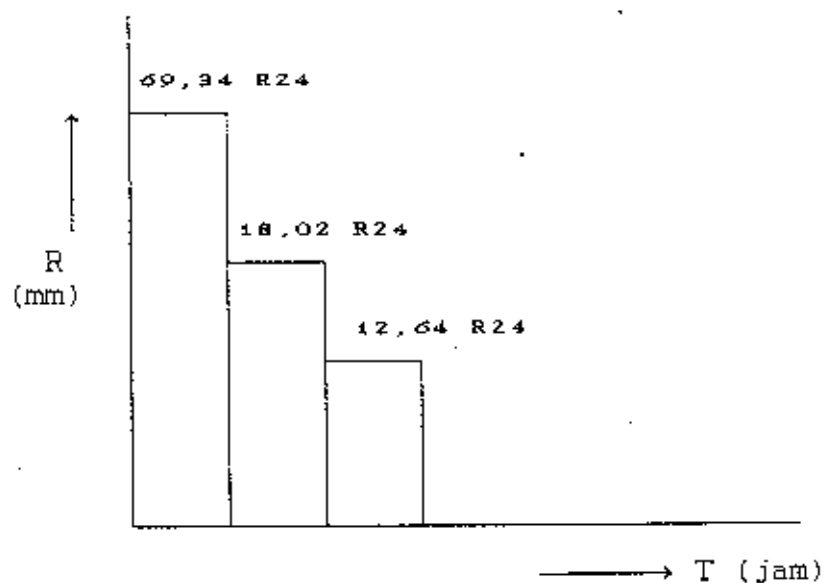
Sehingga perhitungan distribusi curah hujan jam-jaman dapat dilihat pada tabel III.12.

Tabel III.12.

jam Ke T	$R_T$	$R_{(t-1)}$	$R_T = t \cdot R_t - (t-1) \cdot R_{(t-1)}$
0 - 1	0,6934 R24	0	0,6934 R24
1 - 2	0,4368 R24	0,6934 R24	0,1802 R24
2 - 3	0,3333 R24	0,4368 R24	0,1264 R24

gambar 3.2.

Distribusi curah hujan jam-jaman



Tabel III.13

## Prosentase hujan jam-jaman

NO	jam Ke	Prosentase (%)
1	0 - 1	69,34
2	1 - 2	18,02
3	2 - 3	12,64

## 3.2.6. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah suatu variabel dari kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh pada daerah tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya koefisien pengaliran pada kondisi daerah pengaliran adalah :

- Keadaan hujan
- Luas dan bentuk daerah aliran
- Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai
- Besarnya laju infiltrasi dan perkolasi tanah
- Kebasahan tanah
- Suhu udara dan angin serta evaporasi
- Tata guna lahan

Setelah dilakukan penyelidikan oleh Proyek Bengawan Solo terhadap beberapa faktor tersebut diatas, maka

dapat diperoleh koefisien pada daerah aliran sekitar Bendungan Bendo yaitu 45.9 % ( Sumber dari Laporan Study Hidrologi dan Pengukuran Hidrometri Rencana Waduk Bendo ).

### 3.2.6. Distribusi Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang menyebabkan aliran secara langsung, sehingga curah hujan yang jatuh pada daerah aliran selain mengalir sebagai aliran permukaan juga mengalami resapan (infiltrasi), evaporasi dan evapotranspirasi.

Untuk menghitung besarnya curah hujan efektif digunakan perumusan sebagai berikut :

$$R_{\text{eff}} = \alpha R_t \quad [ 3.5 ]$$

dimana :

$R_{\text{eff}}$  = curah hujan efektif dalam waktu 24 jam (mm)

$\alpha$  = koefisien pengaliran

$R_t$  = curah hujan rata-rata daerah pengaliran (mm)



Tabel III.14.

Distribusi Hujan Efektif setiap jam

	periode ulang (tahun)					
	10	20	100	200	500	1000
prob. hujan harian (mm)	85,527	96,101	120,048	130,267	143,750	153,941
koef. pengaliran	45,9 %	45,9 %	45,9 %	45,9 %	45,9 %	45,9 %
hujan efektif (mm)	39,257	44,110	55,102	59,793	65,981	70,659
vaktu (jam)	ratio %					
1	69,34	27,221	30,589	38,208	41,460	45,751
2	18,02	7,074	7,949	9,9291	10,551	11,890
3	12,64	4,962	5,576	9,965	8,136	8,931

## 3.2.7. Curah Hujan Terbesar Yang Mungkin Terjadi

Curah hujan yang terbesar yang mungkin terjadi di suatu daerah aliran sungai dalam suatu periode tertentu merupakan data yang digunakan untuk menaksir besarnya Probable Maksimum Precipitation. Besarnya banjir yang akan terjadi untuk periode tertentu perlu diketahui guna menjaga keamanan, efisiensi dan umur bendungan, sehingga analisa Probable Maksimum Precipitation (PMP) ini diperlukan sebagai kontrol

terhadap analisa banjir rencana dengan periode tertentu pula.

Cara yang terbaik untuk menaksir besarnya PMP adalah dengan melakukan analisa data dari keadaan curah hujan di suatu daerah aliran sungai. Dalam hal ini, besarnya PMP ditaksir dengan cara dari Hersfield, adapun caranya sebagai berikut :

$$X_{PMP} = \bar{X}_n + k_m \times S_{xn} \quad [ 3.6 ]$$

dimana :

$X_{PMP}$  = curah hujan maksimum yang mungkin terjadi (mm)

$\bar{X}_{nc}$  = curah hujan maksimum rata-rata yang telah terkoreksi

$k_m$  = faktor frekwensi yang diperoleh dari grafik 3.2.

$S_{xn}$  = standart deviasi

Harga  $\bar{X}_n$  dan  $S_{nx}$  harus dikoreksi, sehingga akan didapatkan :

$\bar{X}_n$  = curah hujan maksimum rata-rata (mm)

$S_{xnc}$  = standart deviasi yang telah terkoreksi

$X(n-m)$  = dari data curah hujan pada tabel III.4 setelah dikurangi dengan curah hujan terbesar, dengan:

$m$  = harga terbesar dari data curah hujan tabel III.4.

$n$  = banyaknya data

Setelah itu harga PMP harus dikoreksi lagi, dimana faktor koreksinya tergantung dari luas SAS. Langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Dari perhitungan curah hujan harian maksimum pada tabel III.4. dan perhitungan curah hujan harian maksimum dengan cara Gumbel didapat :

$$n = 26$$

$$\bar{X}_n = \bar{X} = 60,278$$

$$S_n = S_{Xn} = 16,103$$

2. Menghitung harga  $k_m$  :

$$\bar{X}_n = 60,278$$

durasi pencatatan hujan = 24 jam

dari grafik 3.2. diperoleh harga  $k_m = 18,6$

$$X_{PMP} = 60,278 + 18,6 * 16,103$$

$$= 354,963$$

3. Menghitung faktor koreksi  $\bar{X}_n$  dan  $S_{Xn}$

Dari tabel 3.4. diperoleh juga curah hujan terbesar

$$m = 96,632$$

sehingga perhitungannya didapat :

$$\bar{X}_{(n-m)} = 58,624$$

$$\Sigma X = 1470,588$$

$$\frac{\bar{X}_{(n-m)}}{\bar{X}_n} = \frac{58,624}{60,278} = 0,975$$

- untuk curah hujan rata-rata ( $\bar{X}_n$ )

Dari grafik 3.3. dan dengan  $n = 26$ , maka didapatkan faktor perataan (Adjustment Factor) yaitu  $\bar{X}_n = 101,5 \%$

Dan dengan grafik 3.4. akan di dapat pula suatu harga  $\bar{X}_n = 101 \%$ .

maka besarnya  $\bar{X}_n$  yang telah terkoreksi adalah sebagai berikut :

$$\bar{X}_{xnc} = 60,178 * 1,015 * 1,01 = 62,591$$

- Menghitung Adjustment factor  $S_{xn}$  ( faktor perataan  $S_{xn}$ )

$$\frac{S_{x(n-m)}}{S_{xn}} = \frac{14,665}{16,103} = 0,91$$

dengan  $n = 26$  dan grafik 3.5. maka didapatkan faktor perataan  $S_{xn} = 102,5 \%$ .

Sedangkan dari grafik 3.4. didapat pula harga Adjustment faktor  $S_{xn} = 105 \%$ .

maka besarnya harga  $S_{xn}$  setelah terkoreksi adalah

$$\begin{aligned} S_{xnc} &= 16,103 * 1,025 * 1,05 \\ &= 17,331 \end{aligned}$$

4. Menghitung harga PMP (terpusat) dari rumus Hersfield :

$$\begin{aligned} X_{PMP} &= \bar{X}_{nc} + km \times S_{xnc} \\ km &= 18,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{PMP} &= 61.691 + 18,6 \times 17,331 \\
 &= 384,048 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 5. Menghitung faktor koreksi PMP

luas daerah pengaliran = 131,43 km<sup>2</sup>  
durasi pencatatan hujan 24 jam } grafik 3.6.

dari grafik 3.6. di dapat harga PMP = 95 %

Sedangkan dari grafik 3.7. dan durasi pencatatan hujan selama 24 jam. akan didapat faktor perataan untuk harga PMP = 100,6 %

maka besarnya PMP yang terkoreksi adalah :

$$X_{PMP} = 384,048 \times 0,95 \times 1,006 = 367,035 \text{ mm}$$

Tabel III.15

Hasil Distribusi Probable maksimum ( PMP )

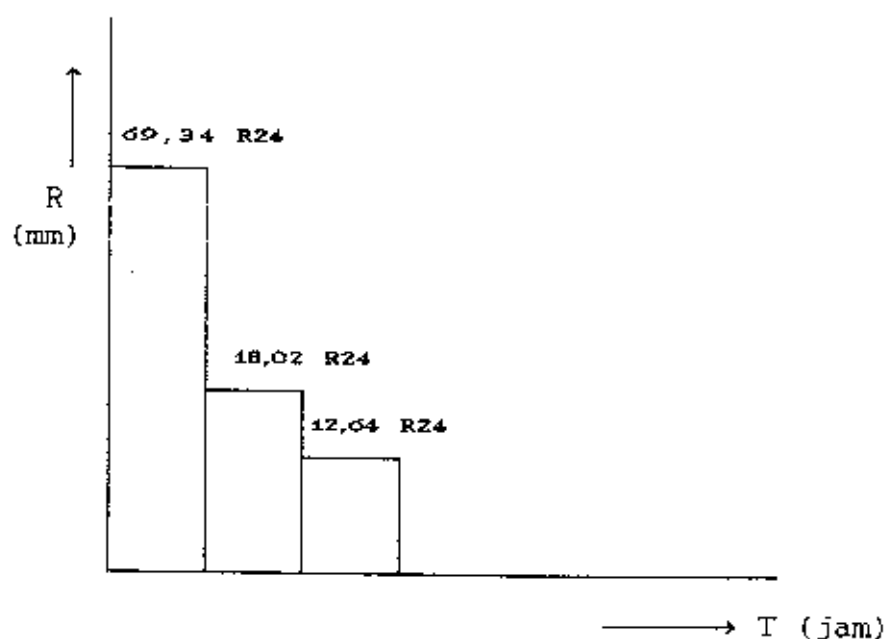
Hujan PMP ( mm )	= 367,035
Koefisien pengakiran	= 45,9 %
Hujan efektif	= 168,469

Hujan (jam )	Distribusi (%)	Tinggi hujan (mm)
0 - 1	69,34	116,816
1 - 2	18,02	30,358
2 - 3	12,64	21,294

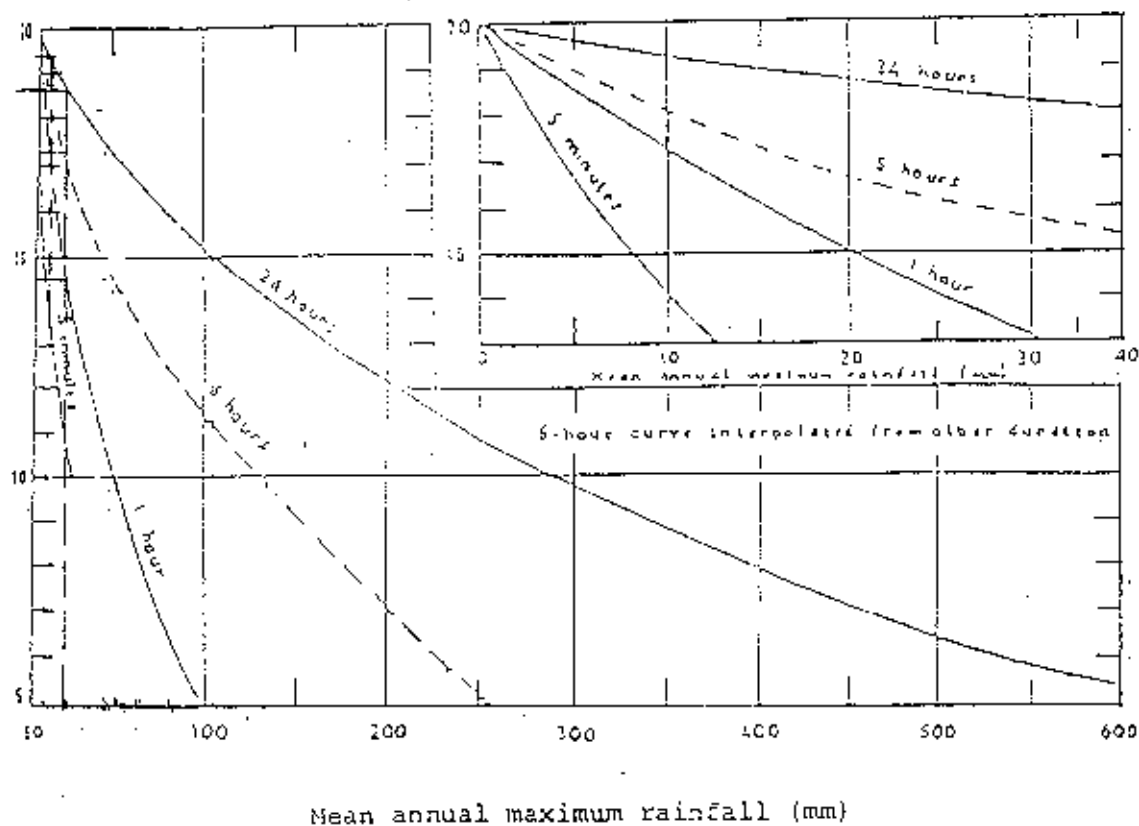
Dari hasil perhitungan distribusi hujan untuk periode ulang 10, 20, 100, 200, 500, 1000 dan PNP akan digunakan sebagai

dasar untuk menghitung debit banjir rencana, sehingga dapat diketahui besarnya hidrograf banjir selama periode ulang tertentu.

Gambar 3.3.  
Pola Pembagian Intensitas Curah Hujan



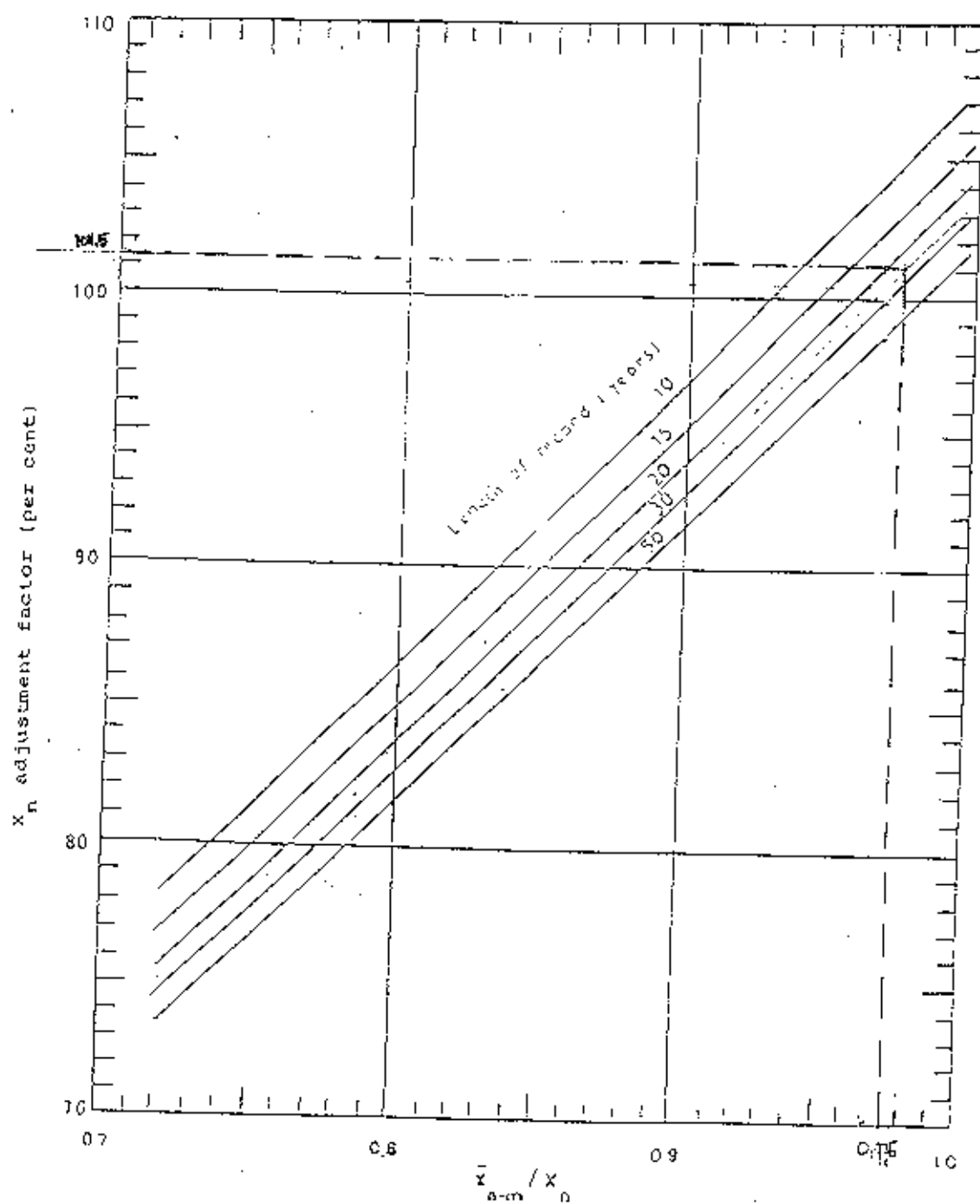
GRAFIK HUBUNGAN ANTARA  $K$  DENGAN FUNGSI DURASI HUJAN  
DAN RATA-RATA HUJAN MAKSIMUM TAHUNAN



GRAFIK 3.2

Sumber : Hershfield, D.M., 1965 : Method for estimating probable maximum precipitation.

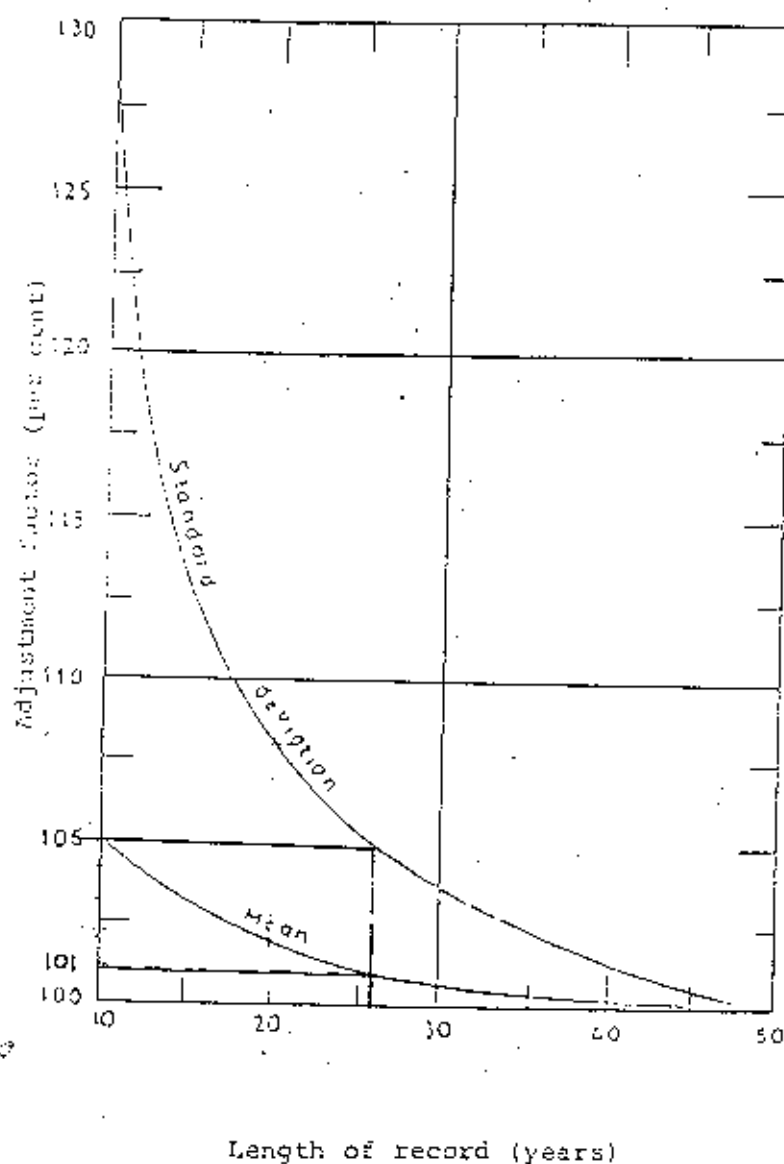
GRAFIK ADJUSMENT DARI RATA-RATA HUJAN TRIUNAN  
MAKSIMUM DENGAN LAMANYA PENCATATAN DATA



GRAFIK 3.3

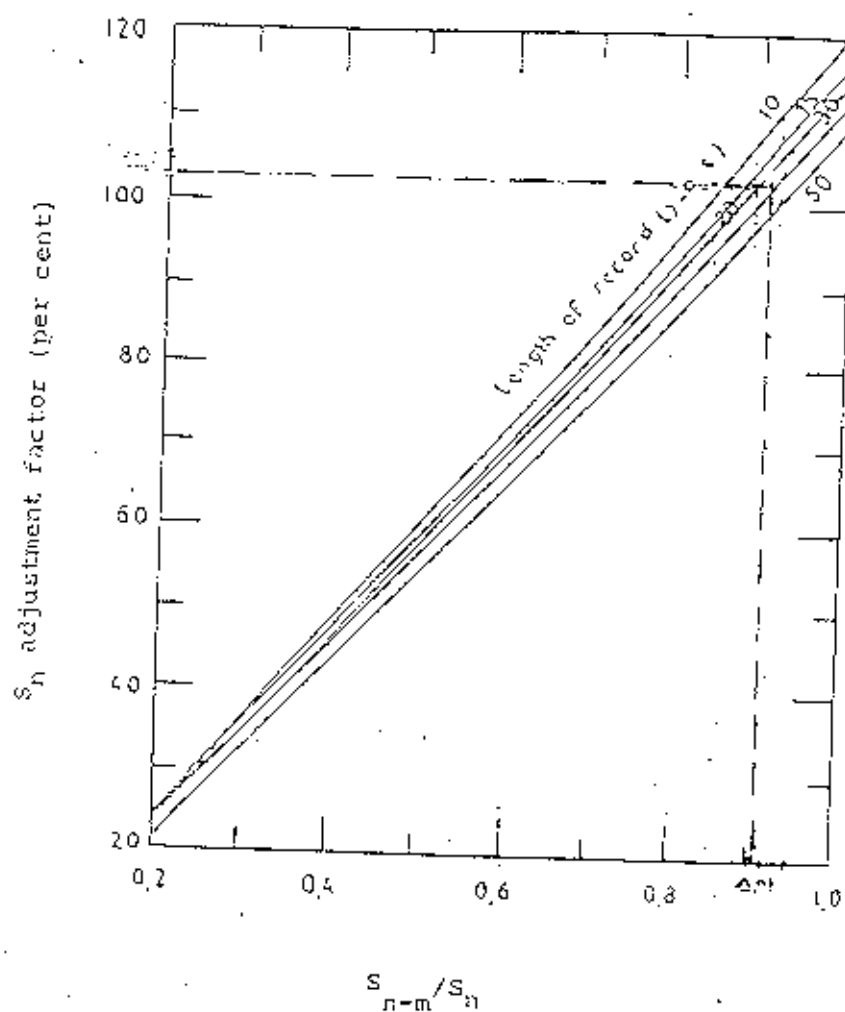


GRAFIK ADJUSTMENT DARI RATA-RATA DAN STANDARD  
DEVIASI DENGAN LAMANYA PENCATATAN DATA HUJAN



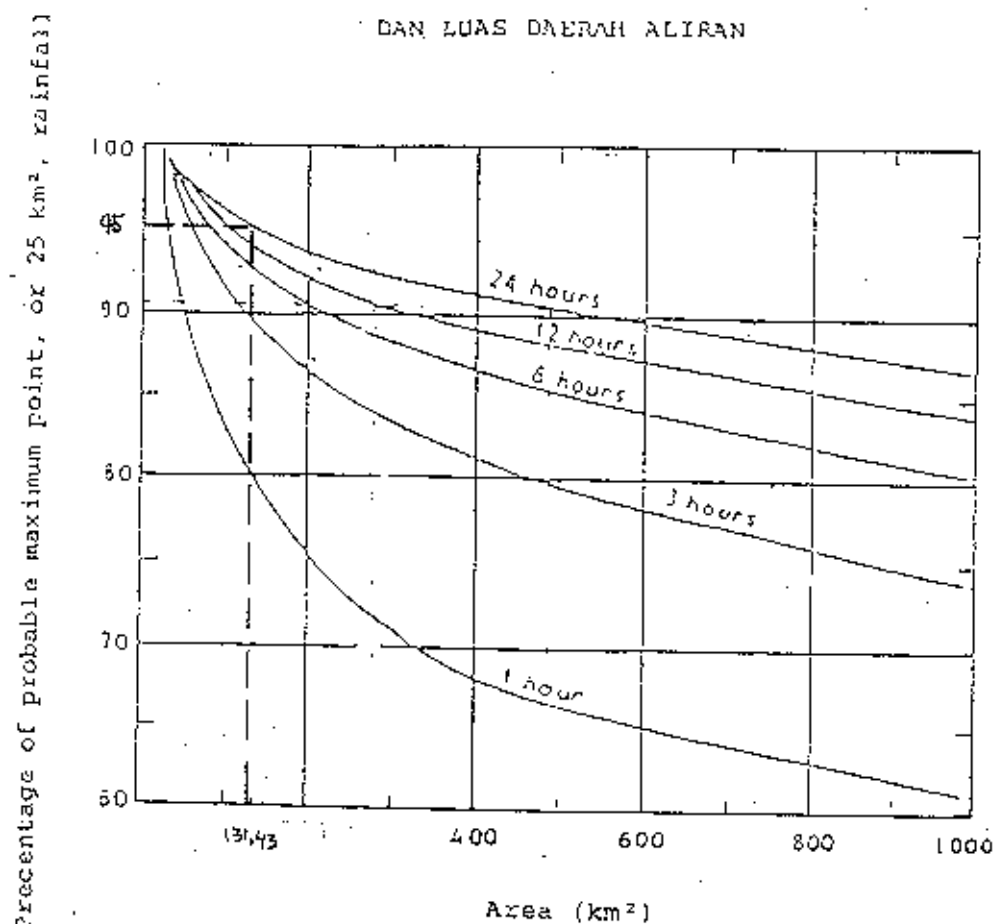
GRAFIK 3.4.

GRAFIK ADJUSTMENT DARI STANDARD HUJAN MAKSIMUM TAHUNAN  
DENGAN LAPANYA PENCATATAN DATA



GRAFIK 3.5

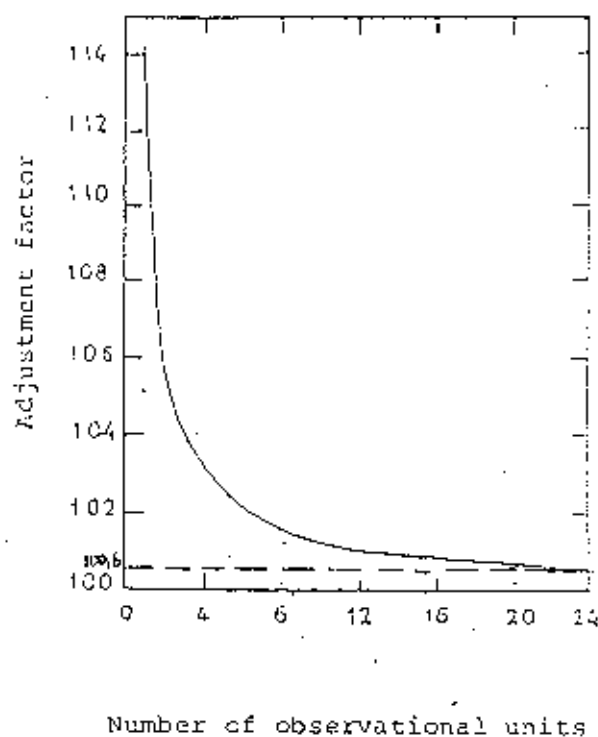
GRAFIK HUBUNGAN FAKTOR REDUKSI LUASAN DENGAN DURASI HUJAN  
DAN LUAS DAERAH ALIRAN



GRAFIK 3.6.

Sumber : McKay, G.A., 1965; Statistical estimates of precipitation extremes for the prairie provinces.

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA FIXED TIME INTERVAL ADJUSTMENT  
DENGAN LAMANYA PENCATATAN DATA HUJAN



GRAFIK 3.7

Sumber : Weiss, L.L., 1964 : Ratio of true to fixed interval  
maximum rainfall.

### 3.3. Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan yang tertentu, atau debit banjir dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu.

Untuk menganalisanya harus terlebih dahulu dibuat hidrograf banjir pada sungai yang bersangkutan.

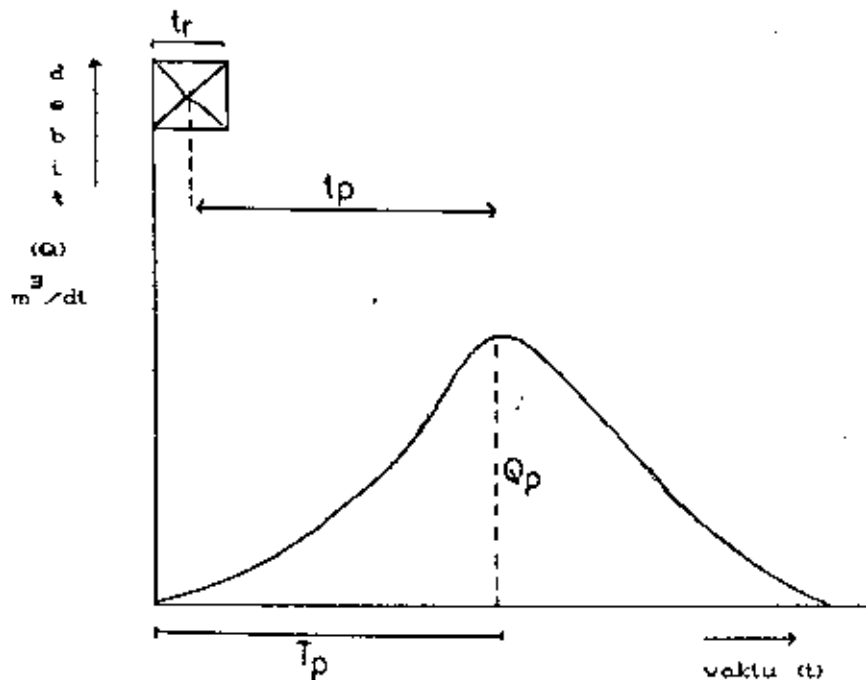
Cara membuat hidrograf banjir pada sungai tersebut yaitu dengan perhitungan sintetis atau yang dikenal dengan cara perhitungan unit hidrograf. Hal ini disebabkan, karena tidak tersedianya hidrograf banjir yang dapat dianalisa sebagai hidrograf satuan daerah study.

Adapun karakteristik yang digunakan untuk membuat hidrograf banjir adalah sebagai berikut :

1. tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf( time of peak magnitude )
2. tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf ( time lag )
3. tenggang waktu hidrograf ( time base )
4. panjang alur sungai utama terpanjang
5. panjang alur sungai dari titik outlet sampai ketitik sungai yang terdekat dengan titik berat daerah pengaliran
6. luas daerah pengaliran dan koefisien pengaliran

Perumusan yang dipakai untuk menghitung debit banjir rencana digunakan methode Synder-Alexeyev.

Bentuk dari hidrograf banjir dinyatakan dalam bentuk curva seperti dibawah ini :



Untuk mendapatkan debit puncak maka terlebih dahulu menggunakan perumusan sebagai berikut :

$$t_p = C_t * (L * L_c)^{0,3} \quad [3.7.]$$

$$q_p = 275 * C_p / t_p$$

$$t_e = t_p / 5,5$$

$$T_p = t_p + 0,5 t_r$$

$$Q_p = q_p * A$$

$$\lambda = \frac{Q_p * \epsilon_p}{W}$$

$$W = 1000 * h * A$$

dimana :

- $t_p$  = waktu antara pusat curah hujan sampai hidrograf satuan ( jam )
- $C_t$  = koefisien yang tergantung dari slope bazin yang besarnya antara 1,1 sampai 1,4
- $L$  = panjang sungai dari titik pengukuran sampai titik terjauh (km)
- $L_c$  = panjang sungai utama terhitung dari outlet sampai titik di sungai yang paling dekat titik pusat daerah pengaliran (km)
- $q_p$  = debit maksimum hidrograf satuan ( $l/dt/km^2$ )
- $Q_p$  = debit maksimum total, akibat hujan efektif 1 mm dengan durasi  $t_r$
- $t_r$  = satuan waktu hujan 1 jam
- $C_p$  = koefisien yang tergantung dari karakteristik basin besarnya antara 0,56-0,69
- $A$  = luas daerah aliran sungai  $131,43 km^2$
- $T_p$  = time peak, yaitu waktu unit hidrograf mulai naik sampai mencapai puncaknya ( jam )
- $W$  = volume aliran (  $m^3$  )
- $h$  = tinggi hujan ( mm )
- $t_e$  = tinggi hujan efektif ( mm )

- Faktor koreksi :

Untuk unit hidrograf  $t_e > t_r$ , maka harus diadakan koreksi

sebagai berikut :

$$t_p' = t_p + 0,25 ( t_r - t_e )$$

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Data yang dipergunakan :

$$L = 32 \text{ km}$$

$$L_c = 11,5 \text{ km}$$

$$A = 131,43 \text{ km}^2$$

$$C_t = 1,1 \text{ untuk daerah kaki bukit}$$

$$C_p = 0,6$$

$$\begin{aligned} 2. t_p &= C_t ( L * L_c )^{0,3} \\ &= 1,1 ( 32 * 11,5 )^{0,3} = 6,474 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. t_e &= \frac{t_p}{5,5} \\ &= \frac{6,474}{5,5} = 1,177 \end{aligned}$$

4.  $t_r = 1 \text{ jam}$ , maka  $t_e > t_r$  sehingga perlu dikoreksi

$$\begin{aligned} 5. t_p' &= t_p + 0,25 ( t_r - t_e ) \\ &= 6,474 + 0,25 * ( 1 - 1,177 ) = 6,430 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6. T_p &= t_p' + 0,5 * t_r \\ &= 6,430 + 0,5 * 1 = 6,93 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 7. q_p &= 275 * \frac{C_p}{T_p} = 275 * \frac{0,6}{6,430} \\ &= 25,661 \text{ l/dt/km}^2 \end{aligned}$$

$$Q_p = q_p * A$$

$$\begin{aligned} Q_p &= 25,661 * 10^{-3} * 131,43 \\ &= 3,373 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{I_p * Q_p}{W} \\ &= \frac{6,93 * 3600 * 3,373}{1000 * 1 * 131,43} \\ &= 0,64\end{aligned}$$

8. Berdasarkan tabel harga y dari Alexseyev untuk berbagai harga x didapat unit hidrograf :  $Q = Y * Q_p$  (tabel III 18). Hasil perhitungan hidrograf dapat dilihat pada tabel III.18. s/d III.31.

tabel 11.10. Harga  $Q$  pada jam ke  $t$   
 $laena = 0,64$

$t$ (jam)	$z = t/Tp$	$it = x/tp$ $Tp =$ 6,93	$y$	$ID = y + Gp$ $m^2/et$
1	0,1	0,693	0,0000	0,0000
2	0,2	1,386	0,0018	0,0060
3	0,3	2,079	0,0130	0,0603
4	0,4	2,772	0,2080	0,6368
5	0,5	3,465	0,4540	1,5209
6	0,6	4,158	0,6580	2,2043
7	0,7	4,851	0,8140	2,7269
8	0,8	5,544	0,9220	3,0387
9	0,9	6,237	0,9800	3,2830
10	1,0	6,930	1,0000	3,3500
11	1,1	7,623	0,9860	3,3031
12	1,2	8,316	0,9460	3,1691
13	1,3	9,009	0,8920	3,0093
14	1,4	9,702	0,8340	2,7939
15	1,5	10,395	0,7700	2,5795
16	1,6	11,088	0,7020	2,3517
17	1,7	11,781	0,6320	2,1172
18	1,8	12,474	0,5680	1,9026
19	1,9	13,167	0,5140	1,7219
20	2,0	13,860	0,4640	1,5209
21	2,2	15,246	0,3800	1,2060
22	2,4	16,632	0,2800	0,9330
23	2,6	18,018	0,2140	0,7169
24	2,8	19,404	0,1620	0,5427

Tabel harga Y pada methode Alexeyev untuk berbagai harga X dan  $\lambda$   
TABEL III.17

X ( $t/T_p$ )	$\lambda$							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
0.1	0.000	0.000	0.000					
0.2	0.03	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.3	0.18	0.01	0.03	0.02	0.01	0.003	0.003	0.000
0.4	0.39	0.28	0.1	0.1	0.08	0.04	0.02	0.01
0.5	0.59	0.49	0.40	0.31	0.24	0.18	0.13	0.01
0.6	0.75	0.69	0.61	0.54	0.47	0.39	0.33	0.27
0.7	0.87	0.83	0.79	0.69	0.6	0.51	0.59	0.51
0.8	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.84	0.81	0.78
0.9	0.99	0.98	0.98	0.93	0.87	0.96	0.96	0.95
1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.1	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96
1.2	0.96	0.95	0.94	0.92	0.91	0.89	0.87	0.85
1.3	0.93	0.91	0.88	0.85	0.82	0.78	0.7	0.71
1.4	0.89	0.85	0.81	0.77	0.72	0.67	0.62	0.57
1.5	0.84	0.79	0.74	0.68	0.62	0.57	0.50	0.44
1.6	0.79	0.73	0.66	0.59	0.2	0.46	0.3	0.34
1.7	0.74	0.66	0.59	0.54	0.44	0.37	0.30	0.25
1.8	0.6	0.60	0.52	0.44	0.3	0.29	0.23	0.18
1.9	0.64	0.55	0.46	0.37	0.29	0.28	0.47	0.13
2.0	0.59	0.49	0.40	0.31	0.21	0.18	0.13	0.09
2.2	0.50	0.40	0.30	0.24	0.15	0.10	0.07	0.04
2.4	0.42	0.32	0.22	0.15	0.10	0.06	0.03	0.02
2.6	0.35	0.25	0.16	0.10	0.06	0.03	0.02	0.01
2.8	0.29	0.19	0.12	0.07	0.04	0.02	0.01	0.001
3.0	0.24	0.15	0.09	0.04	0.02	0.01	0.001	0.001
3.5	0.15	0.08	0.04	0.02	0.01	0.002	0.000	0.000
4.0	0.09	0.04	0.02	0.01	0.002	0.000		
4.5	0.06	0.02	0.01	0.002	0.000			
5.0	0.03	0.01	0.003	0.000				
6.0	0.01	0.003	0.000					
8.0	0.0015	0.000						

TABEL III.18. HIDROGRAP BANJIR UNTUK 10 TH TANPA BASE FLOW  
METODE SNYDER & ALEXEEV

Waktu (jam)	Unit (mm)	Run off (m <sup>3</sup> /dt)			Total	
		Hidrograp			m <sup>3</sup> /dt	
		27,221	7,074	4,962		
1	0,0000	0,000			0,000	0
2	0,0060	0,163	0,000		0,163	0
3	0,0503	1,541	0,042	0,000	1,584	2
4	0,5968	18,368	0,427	0,036	19,429	19
5	1,5209	41,400	4,929	0,299	46,629	47
6	2,2043	60,003	10,759	3,459	74,220	74
7	2,7269	74,229	15,593	7,547	97,369	97
8	3,0687	84,078	19,290	10,938	114,305	114
9	3,2230	89,367	21,949	13,531	124,747	125
10	3,0500	91,190	25,324	15,326	129,740	130
11	3,0031	89,914	23,699	16,290	129,902	130
12	3,1691	86,266	23,386	16,623	126,255	126
13	3,0063	91,989	22,418	16,390	120,697	121
14	2,7937	76,653	21,261	16,725	113,639	113
15	2,5793	70,217	19,764	14,937	104,908	105
16	2,3517	64,016	18,247	13,863	96,126	96
17	2,1172	57,632	16,636	12,799	87,068	87
18	1,9023	51,796	14,977	11,667	78,442	78
19	1,7019	46,572	13,466	10,506	70,539	70
20	1,5209	41,400	12,181	9,442	63,023	63
21	1,2660	32,829	10,759	8,344	52,131	52
22	0,9580	21,533	8,531	7,547	41,611	42
23	0,7169	19,515	6,635	5,984	32,134	32
24	0,5427	14,773	5,071	4,654	24,499	24

TABEL III.19. HIDROGRAP BANJIR UNTUK 20 TH TANPA BASE FLOW  
METODE SNYDER & ALEXEEV

Waktu	Unit	Run off (m <sup>3</sup> /dt)			Total	
Micrograf						
(jam)	(m <sup>3</sup> /dt/jam)	10.053	7.949	5.576	m <sup>3</sup> /dt	
1	0.0000	0.000			0.000	0
2	0.0000	0.150	0.000		0.150	0
3	0.0000	1.312	0.048	0.000	1.360	2
4	0.0000	10.544	0.479	0.033	11.057	21
5	0.0000	45.713	3.339	0.536	51.590	52
6	0.0000	88.157	12.040	3.865	102.232	92
7	0.0000	11.145	17.322	8.481	107.748	108
8	0.0000	12.146	11.376	12.791	126.207	127
9	0.0000	13.130	14.552	15.205	138.458	138
10	0.0000	11.144	16.097	17.253	144.413	144
11	0.0000	10.133	16.829	18.504	144.220	144
12	0.0000	10.137	16.126	18.380	140.193	140
13	0.0000	10.133	15.191	18.418	134.853	134
14	0.0000	10.137	13.943	17.671	125.553	126
15	0.0000	10.133	12.289	16.774	118.518	117
16	0.0000	10.137	10.594	15.379	108.771	107
17	0.0000	10.133	8.884	14.383	94.713	97
18	0.0000	10.134	7.850	13.113	87.137	87
19	0.0000	11.757	6.125	11.806	78.668	79
20	0.0000	45.713	13.887	10.810	70.413	70
21	0.0000	38.250	12.090	9.601	57.941	58
22	0.0000	28.194	9.586	8.481	46.261	46
23	0.0000	21.849	7.456	6.725	35.729	36
24	0.0000	15.312	5.679	5.230	27.241	27

TABEL III.20. HIDROGRAP BANGKIR UNTUK 100 TH TANPA BASE FLEM  
METODE SNYDER & ALEXEEV

Waktu (jam)	Unit Hidrograp (m <sup>3</sup> /dt/mm)	Run off (m <sup>3</sup> /dt)			Total m <sup>3</sup> /dt
		38,208	9,7291	5,965	
1	0,000	0,000			0,000
2	0,000	0,000	0,000		0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

TABEL 111.21. HIDROGRAP BANJIR UNTUK 200 TH TANPA BASE FLOW  
METODE SNYDER & ALEXEEV

Waktu	Unit	Run off (m <sup>3</sup> /dt)			Total
	Hidrograp				
(jam)	(m <sup>3</sup> /dt/mm)	41,480	10,773	7,555	
1	0,0000	0,000			0
2	0,0050	0,245	0,000		0
3	0,0103	2,500	0,065	0,000	2,565
4	0,0158	26,289	0,530	0,045	26,864
5	1,5209	65,057	7,506	0,485	73,048
6	2,2041	91,390	16,338	5,265	112,993
7	2,7269	113,037	23,751	11,495	148,283
8	3,0887	128,058	29,382	16,560	174,000
9	3,2830	136,113	33,281	20,510	190,004
10	3,3500	138,891	35,374	22,344	196,609
11	3,3931	139,847	36,096	23,313	199,256
12	3,4151	139,391	35,591	23,513	198,500
13	3,4083	137,724	34,147	23,465	195,336
14	3,3839	135,835	32,414	23,382	191,631
15	3,3495	132,846	30,104	22,737	185,687
16	3,3057	127,501	27,764	21,116	176,381
17	3,2572	120,779	25,340	19,496	165,615
18	3,2028	113,890	22,313	17,774	153,977
19	3,1419	106,390	20,503	16,002	142,894
20	3,0769	98,057	18,553	14,781	131,391
21	3,0060	89,001	16,788	13,614	119,403
22	0,9380	38,829	12,995	11,495	63,319
23	0,7269	30,137	10,107	9,115	49,359
24	0,5427	22,600	7,832	7,089	37,521

TABEL III.22. HIDROGRAF BANGKIT UNTUK 300 TH TANPA BASE FLOW  
METODE SNYDER & ALEXEEV

Waktu (jam)	Unit (m <sup>3</sup> /dt/m)	Run off (m <sup>3</sup> /dt)			Total m <sup>3</sup> /dt
1	0,0000	0,000			0
2	0,0060	0,075	0,000		0,075
3	0,0603	2,759	0,071	0,000	2,830
4	0,6968	31,879	0,717	0,050	32,646
5	1,5209	69,583	3,285	0,503	73,371
6	2,2043	100,849	10,084	5,311	124,744
7	2,7269	124,758	25,209	12,634	162,601
8	3,0887	141,311	32,473	18,384	192,168
9	3,2930	150,201	36,725	22,742	209,668
10	3,3500	153,288	39,038	25,760	218,086
11	3,3031	151,120	39,932	27,380	218,432
12	3,1691	144,926	39,274	27,839	212,039
13	3,0083	137,633	37,581	27,348	202,561
14	2,7939	127,824	35,767	26,430	190,021
15	2,5758	118,015	33,219	25,089	176,323
16	2,3517	107,593	30,670	23,301	161,564
17	2,1192	96,864	27,982	21,513	146,359
18	1,8928	87,065	25,174	19,813	131,052
19	1,7217	78,779	22,524	17,657	116,960
20	1,5209	69,583	20,473	15,069	105,125
21	1,2060	55,173	16,084	14,361	85,618
22	0,9380	42,914	14,337	12,634	69,885
23	0,7269	33,258	11,153	10,059	54,470
24	0,5427	24,829	8,643	7,823	41,295



TABEL III.23 HIDROGRAP BANJIR UNTUK 1000 TH TAVFA BASE FLOW  
MSTODE SNYDER & ALEKSEEV

Waktu	Unit	Run off (m <sup>3</sup> /dt)			Total	
(jam)	(m <sup>3</sup> /dt/m)	48,955	12,733	8,931		
1	0,0000	0,000			0,000	0
2	0,0060	0,294	0,000		0,294	0
3	0,0603	2,954	0,076	0,000	3,030	3
4	0,3868	34,133	0,768	0,054	34,954	35
5	1,5209	74,501	2,672	0,539	33,912	34
6	2,2043	107,978	19,366	6,223	133,566	134
7	2,7269	133,577	28,067	13,583	175,223	175
8	3,0887	151,300	34,722	19,687	205,708	206
9	3,2830	160,818	39,328	24,354	224,500	225
10	3,3500	164,100	41,502	27,585	233,187	233
11	3,3331	161,802	42,656	29,520	233,978	234
12	3,1691	155,238	42,058	29,719	227,015	227
13	2,9083	147,362	40,352	29,500	217,214	217
14	2,7939	138,859	38,305	28,303	207,467	207
15	2,6795	128,357	35,575	26,567	189,799	189
16	2,5517	115,189	32,545	24,952	172,686	173
17	2,1172	103,711	29,944	23,038	156,693	157
18	1,9028	93,209	26,758	21,003	141,170	141
19	1,7215	84,347	24,228	18,907	127,482	127
20	1,5209	74,501	21,923	16,594	113,018	113
21	1,2060	59,076	19,366	13,378	93,820	94
22	0,9380	45,948	15,356	10,583	74,887	75
23	0,7269	35,847	11,944	8,771	56,562	56
24	0,5427	26,584	9,256	6,377	42,217	42

TABEL III.24. MICROGRAP SANIIR UNTUK RMP TANPA BASE FLOW  
METODE SNYDER & ALEXEEV

Waktu	Unit	Run off (m <sup>3</sup> /dt)			Total	
(jam)	(m <sup>3</sup> /dt/mm)	115,816	30,358	21,294	m <sup>3</sup> /dt	
1	0,0000	0,000			0,000	0
2	0,0060	0,701	0,000		0,701	1
3	0,0653	7,644	0,182	0,000	7,228	7
4	0,6758	21,397	1,531	0,125	83,055	83
5	1,5209	177,665	21,153	1,254	200,103	200
6	2,2043	257,498	46,171	14,633	318,307	318
7	2,7269	316,546	88,918	32,385	417,650	418
8	3,0887	360,810	82,783	46,938	490,531	491
9	3,2830	383,507	93,767	58,067	535,340	535
10	3,3500	391,334	99,665	65,771	556,770	557
11	3,3631	395,265	101,699	69,908	567,462	567
12	3,1691	370,262	100,276	71,335	541,872	542
13	3,0693	351,413	95,205	70,336	517,961	518
14	2,7939	328,372	91,326	67,483	486,181	486
15	2,5785	301,527	84,517	64,059	450,103	450
16	2,3517	274,716	78,308	59,463	412,518	413
17	2,1172	247,323	71,593	54,928	373,844	374
18	1,9028	222,277	64,274	50,677	336,629	337
19	1,7219	201,145	57,765	45,084	303,994	304
20	1,5209	177,665	52,273	40,518	270,457	270
21	1,2060	140,880	46,171	36,666	223,718	224
22	0,9390	109,573	36,612	32,386	178,571	179
23	0,7269	84,914	28,475	25,681	139,070	139
24	0,5427	63,396	22,067	19,674	105,137	105

TABEL 111.23. Perhitungan Micrograf banjir 10 tahun  
dengan Base Flow

Waktu (Jam)	debit (m <sup>3</sup> /dt)	Base Flow (m <sup>3</sup> /dt)	Total debit (m <sup>3</sup> /dt)
1	0	0,14	0,14
2	0	0,14	0,14
3	2	0,14	2,14
4	19	0,14	19,14
5	47	0,14	47,14
6	74	0,14	74,14
7	97	0,14	97,14
8	114	0,14	114,14
9	125	0,14	125,14
10	130	0,14	130,14
11	130	0,14	130,14
12	126	0,14	126,14
13	121	0,14	121,14
14	113	0,14	113,14
15	105	0,14	105,14
16	95	0,14	95,14
17	87	0,14	87,14
18	78	0,14	78,14
19	71	0,14	71,14
20	63	0,14	63,14
21	52	0,14	52,14
22	42	0,14	42,14
23	32	0,14	32,14
24	24	0,14	24,14
		0,14	

TABEL III.15. Perhitungan Hidrograf banjir 20 tahun dengan Base Flow

Waktu (Jam)	debit ( $m^3/dt$ )	Base flow ( $m^3/dt$ )	Total debit ( $m^3/dt$ )
1	0	0,14	0,14
2	0	0,14	0,14
3	2	0,14	2,14
4	21	0,14	21,14
5	52	0,14	52,14
6	82	0,14	82,14
7	108	0,14	108,14
8	127	0,14	127,14
9	138	0,14	138,14
10	144	0,14	144,14
11	144	0,14	144,14
12	140	0,14	140,14
13	134	0,14	134,14
14	128	0,14	128,14
15	117	0,14	117,14
16	107	0,14	107,14
17	97	0,14	97,14
18	87	0,14	87,14
19	78	0,14	78,14
20	70	0,14	70,14
21	58	0,14	58,14
22	48	0,14	48,14
23	38	0,14	38,14
24	27	0,14	27,14
		0,14	0,14

TABEL III.27. Perhitungan Hidrograf banjir 100 tahun dengan Base Flow

Waktu (Jam)	debit ( $m^3/dt$ )	Base flow ( $m^3/dt$ )	Total debit ( $m^3/dt$ )
1	0	0,14	0,14
2	0	0,14	0,14
3	2	0,14	2,14
4	27	0,14	27,14
5	58	0,14	58,14
6	104	0,14	104,14
7	137	0,14	137,14
8	169	0,14	169,14
9	175	0,14	175,14
10	182	0,14	182,14
11	182	0,14	182,14
12	177	0,14	177,14
13	169	0,14	169,14
14	159	0,14	159,14
15	147	0,14	147,14
16	135	0,14	135,14
17	122	0,14	122,14
18	110	0,14	110,14
19	99	0,14	99,14
20	88	0,14	88,14
21	75	0,14	75,14
22	58	0,14	58,14
23	45	0,14	45,14
24	34	0,14	34,14
		0,14	0,14

TABEL 111.20. Perhitungan Hidrograf banjir 200 tahun dengan Base Flow

Waktu (Jam)	Debit (m <sup>3</sup> /dt)	Base flow (m <sup>3</sup> /dt)	Total debit (m <sup>3</sup> /dt)
1	0	0,14	0,14
2	0	0,14	0,14
3	3	0,14	3,14
4	30	0,14	30,14
5	71	0,14	71,14
6	113	0,14	113,14
7	148	0,14	148,14
8	174	0,14	174,14
9	180	0,14	180,14
10	168	0,14	168,14
11	155	0,14	155,14
12	141	0,14	141,14
13	124	0,14	124,14
14	102	0,14	102,14
15	80	0,14	80,14
16	56	0,14	56,14
17	33	0,14	33,14
18	19	0,14	19,14
19	10	0,14	10,14
20	6	0,14	6,14
21	3	0,14	3,14
22	1	0,14	1,14
23	0	0,14	0,14
24	0	0,14	0,14
		0,14	0,14

TABEL III.29. Perhitungan Hidrograf banjir 500 tahun dengan Base Flow

Waktu (Jam)	debit ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	Base flow ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	Total debit ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )
1	0	0,14	0,14
2	0	0,14	0,14
3	3	0,14	3,14
4	33	0,14	33,14
5	78	0,14	78,14
6	125	0,14	125,14
7	164	0,14	164,14
8	192	0,14	192,14
9	210	0,14	210,14
10	218	0,14	218,14
11	218	0,14	218,14
12	212	0,14	212,14
13	203	0,14	203,14
14	190	0,14	190,14
15	176	0,14	176,14
16	162	0,14	162,14
17	146	0,14	146,14
18	132	0,14	132,14
19	116	0,14	116,14
20	106	0,14	106,14
21	88	0,14	88,14
22	70	0,14	70,14
23	54	0,14	54,14
24	41	0,14	41,14

TADEL III.14. Perhitungan Hidrograf banjir 1000 tahun  
dengan Base Flow

-----			
: Waktu : debit (Base flow : Total debit : (Jam) (m <sup>3</sup> /det) (m <sup>3</sup> /det) (m <sup>3</sup> /det) :			
-----			
1	0	0,14	0,14
2	0	0,14	0,14
3	0	0,14	0,14
4	33	0,14	33,14
5	64	0,14	64,14
6	104	0,14	104,14
7	173	0,14	173,14
8	263	0,14	263,14
9	333	0,14	333,14
10	403	0,14	403,14
11	474	0,14	474,14
12	527	0,14	527,14
13	577	0,14	577,14
14	620	0,14	620,14
15	659	0,14	659,14
16	697	0,14	697,14
17	737	0,14	737,14
18	771	0,14	771,14
19	807	0,14	807,14
20	833	0,14	833,14
21	84	0,14	84,14
22	73	0,14	73,14
23	59	0,14	59,14
24	44	0,14	44,14
-----			

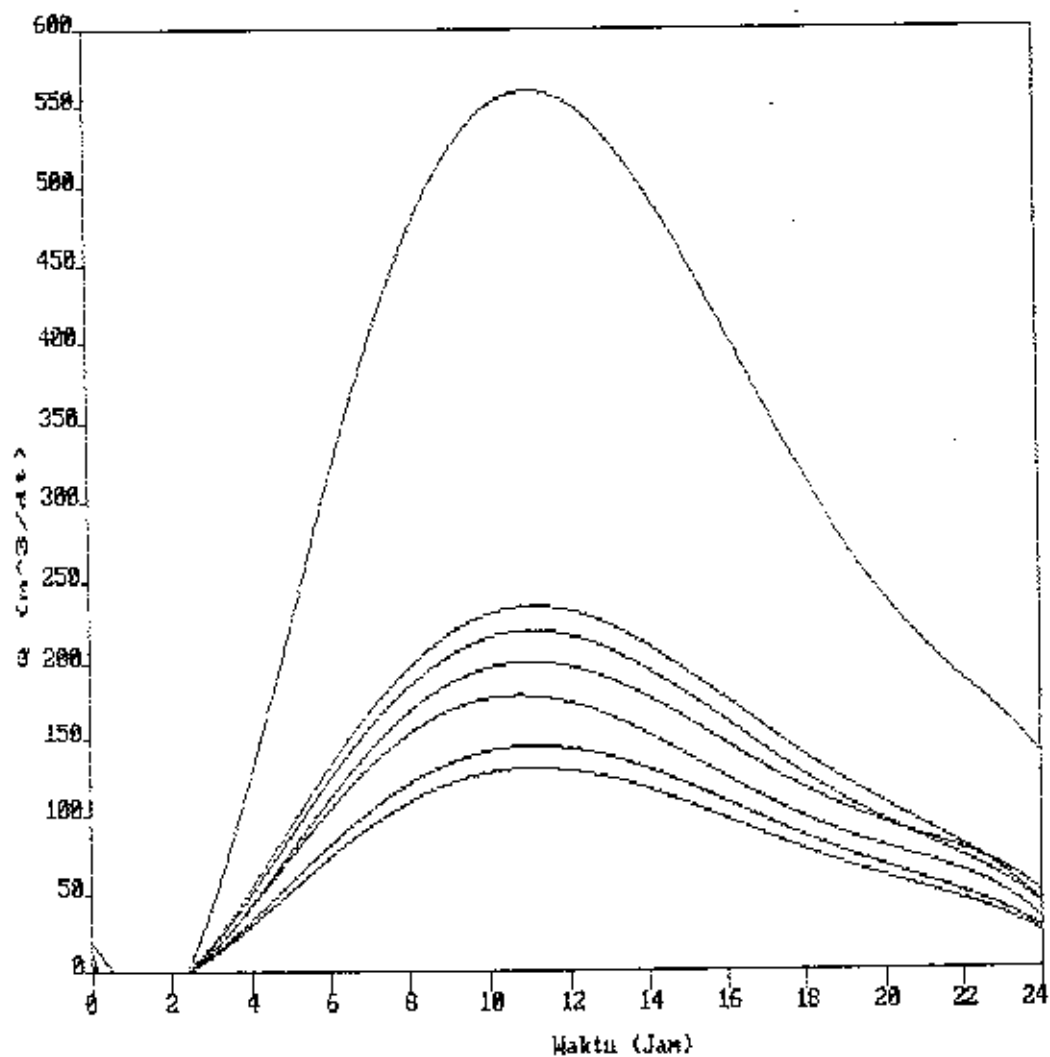


TABEL 11.31. Perhitungan Hidrograf banjir PMP  
dengan Base Flow

waktu (Jam)	debit ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	Base Flow ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	Total debit ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )
1	0	0,14	0,14
2	1	0,14	1,14
3	7	0,14	7,14
4	83	0,14	83,14
5	200	0,14	200,14
6	319	0,14	319,14
7	418	0,14	418,14
8	491	0,14	491,14
9	535	0,14	535,14
10	557	0,14	557,14
11	557	0,14	557,14
12	545	0,14	545,14
13	519	0,14	519,14
14	485	0,14	485,14
15	450	0,14	450,14
16	413	0,14	413,14
17	374	0,14	374,14
18	337	0,14	337,14
19	304	0,14	304,14
20	270	0,14	270,14
21	224	0,14	224,14
22	179	0,14	179,14
23	139	0,14	139,14
24	105	0,14	105,14

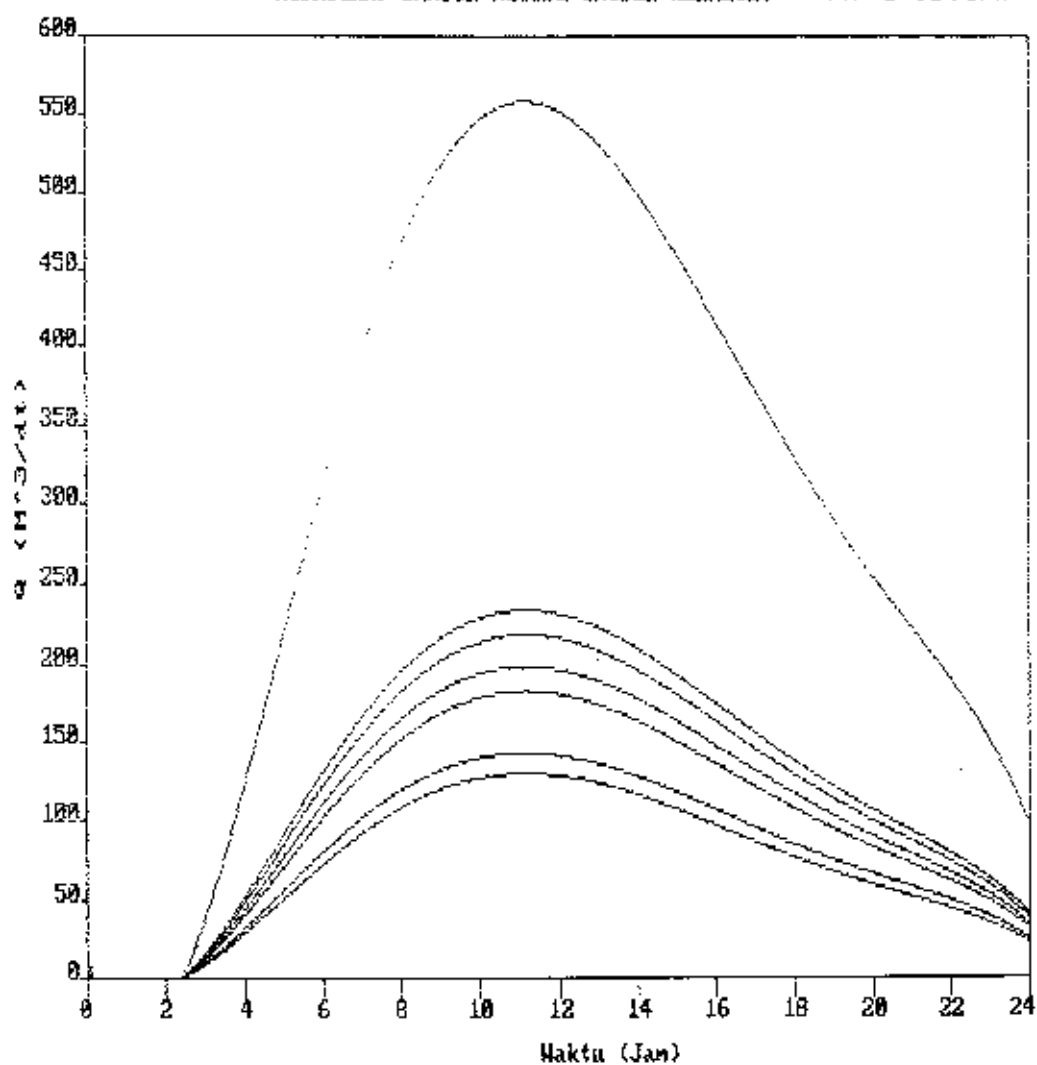
GRAFIK 3.9.

## HIDROGRAF BANJIR DENGAN BASEFLOW METODE SNYDER



GRAFIK 3.8.

HIDROGRAF BANJIR METODE SNYDER-ALEXEYEV TANPA BASE FLOW



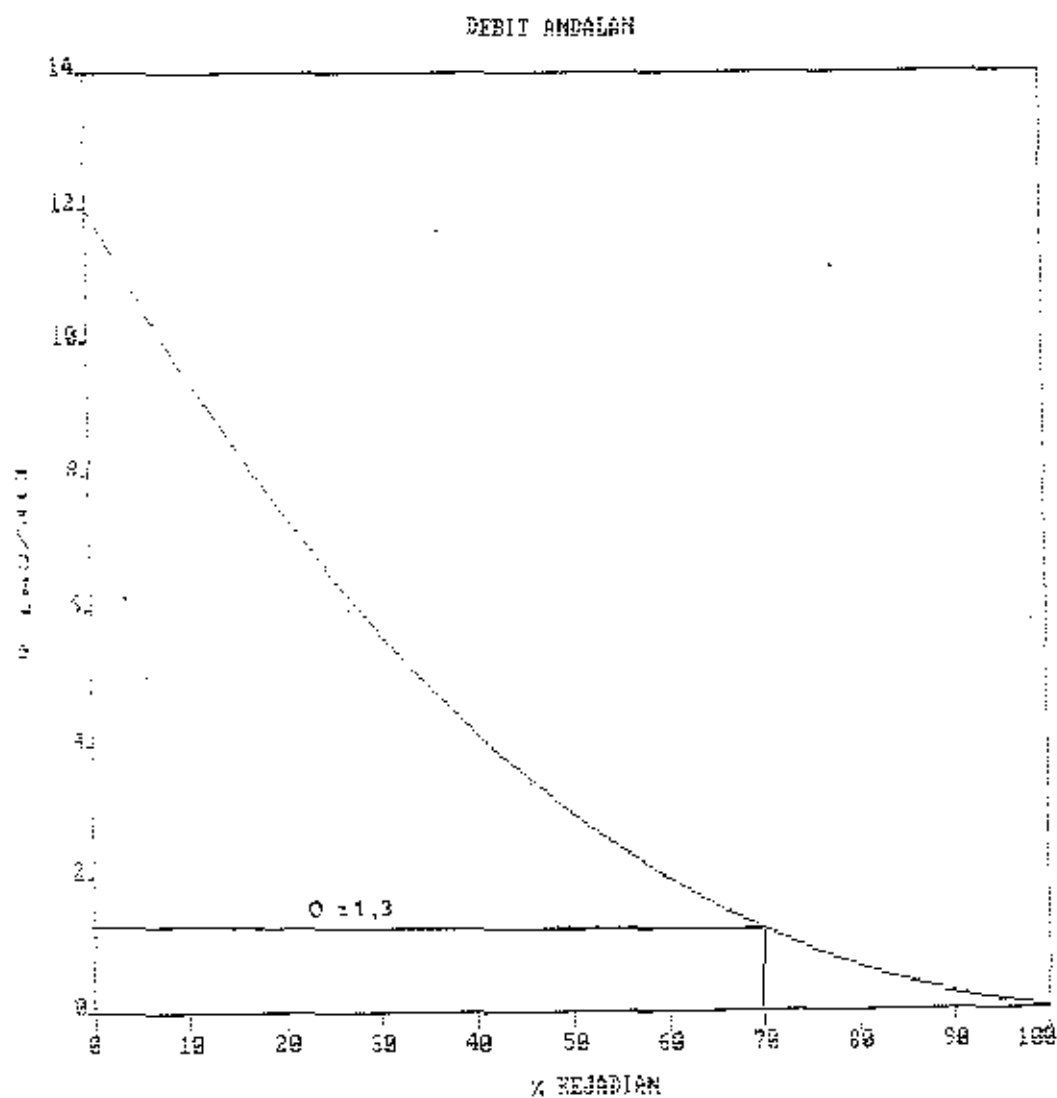
TABEL III.14. PERHITUNGAN DEBIT ANDALAN UNTUK BASE FLOW

INTERVAL DEBIT	TITIK TENGAH DEBIT (M <sup>3</sup> /DT)	FREK	FREK KOM	PROSENTASE ( % )
0,0 <= 0 < 0,10	0,05	9	24	100,00
0,1 <= 0 < 0,20	0,15	12	17	65,56
0,20 <= 0 < 0,30	0,25	3	5	19,23
0,30 <= 0 < 0,40	0,35	1	2	7,69
0,40 <= 0 < 0,50	0,45	0	1	3,85
0,50 <= 0 < 0,60	0,55	0	1	3,85
0,60 <= 0 < 0,70	0,65	0	1	3,85
0,70 <= 0 < 0,80	0,75	0	1	3,85
0,80 <= 0 < 0,90	0,85	0	1	3,85
0,90 <= 0 < 1,00	0,95	0	1	3,85
1,00 <= 0 < 1,10	1,05	0	1	3,85
1,10 <= 0 < 1,20	1,15	0	1	3,85
1,20 <= 0 < 1,30	1,25	1	1	3,85

32.  
pada daerah aliran sungai Ngindang

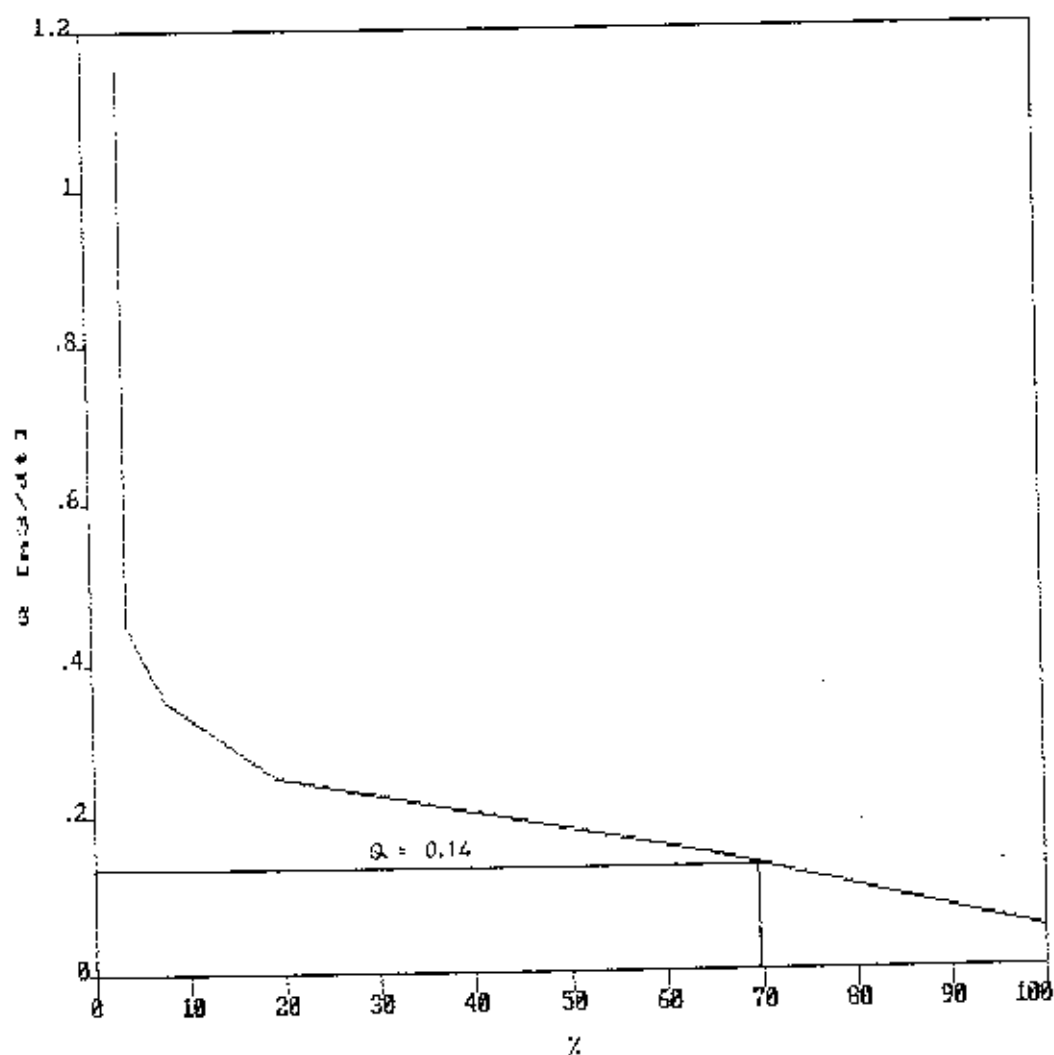
Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nov	Des	rata-rata	terendah
8,78	10,16	6,52	2,55	0,88	0,71	0,54	0,22	0,17	0,13	0,09	5,00	2,98	0,19
11,12	10,75	8,00	7,37	2,00	0,74	0,19	0,13	0,08	0,69	7,11	10,17	5,22	0,08
6,36	7,61	9,40	6,46	6,08	2,62	0,17	0,12	0,08	0,06	1,06	5,15	3,77	0,06
9,34	11,19	7,09	7,33	7,86	3,95	1,21	0,20	0,17	0,14	4,76	8,23	5,13	0,14
6,74	6,85	5,11	5,48	4,56	2,61	4,50	3,82	1,34	1,20	2,72	4,00	4,08	1,20
4,23	3,76	1,90	1,79	2,94	2,33	1,52	0,86	0,31	0,48	3,16	6,85	2,49	0,31
7,61	7,69	8,71	7,85	3,79	0,81	2,61	2,60	0,31	0,24	0,21	3,09	3,79	0,21
6,02	6,13	7,67	7,18	4,18	1,21	0,38	0,28	0,25	0,35	2,34	10,16	3,86	0,25
12,42	9,63	6,73	4,33	1,55	0,64	0,35	0,30	0,23	0,17	0,46	5,21	3,67	0,17
8,31	8,00	5,82	4,72	5,65	2,94	0,33	0,18	0,12	0,09	1,83	3,63	3,37	0,09
3,86	4,24	5,95	8,99	5,45	1,08	0,18	0,12	0,09	0,09	0,67	4,41	2,92	0,09
10,17	8,41	6,07	8,95	4,72	0,79	0,21	0,16	0,11	0,09	0,75	7,50	4,00	0,09
13,27	11,17	10,89	8,97	2,11	0,35	0,18	0,12	0,09	0,09	0,09	1,71	4,09	0,09
4,83	5,45	8,17	8,09	6,34	2,67	0,36	0,13	0,10	2,38	3,97	5,46	4,00	0,10
10,64	9,74	7,06	4,64	1,58	0,34	0,17	0,12	0,09	0,09	0,24	4,86	3,30	0,09
6,52	8,12	11,14	9,29	2,39	0,46	0,18	0,13	0,09	0,09	1,84	7,76	4,17	0,09
10,57	7,70	3,58	1,91	0,68	0,18	0,13	0,10	0,09	0,09	0,09	1,02	2,18	0,09
4,70	5,23	8,46	7,09	3,62	5,74	4,70	1,17	0,19	0,15	2,13	5,72	4,08	0,15
7,10	6,48	6,23	6,61	4,16	0,27	0,16	0,12	0,10	0,10	0,10	1,29	2,89	0,10
4,96	6,39	7,96	7,89	6,53	8,00	0,62	0,18	0,13	0,10	4,04	8,25	4,15	0,10
6,35	8,25	8,43	3,08	2,23	2,83	0,53	0,17	0,12	1,89	4,72	6,01	3,70	0,12
7,81	5,51	5,34	3,79	1,28	0,42	0,17	0,12	0,10	0,10	0,31	5,98	2,58	0,10
9,58	8,51	8,31	9,09	9,33	4,31	0,97	0,22	0,49	0,72	1,69	4,78	4,83	0,22
4,75	6,76	8,84	6,75	4,95	1,65	0,25	0,21	0,16	1,87	5,35	5,34	3,91	0,16
5,22	5,40	7,53	7,41	5,47	1,79	0,21	0,15	0,11	0,81	1,46	3,64	3,42	0,11
4,02	4,82	7,10	4,87	0,55	0,15	0,11	0,10	0,10	0,10	1,75	3,45	2,26	0,10
7,59	7,45	7,31	6,31	3,85	1,90	0,81	0,46	0,20	0,47	2,04	5,34	3,65	0,17

GRAFIK 3.10.



GRAFIK 3.11.

DEBIT ANDALAN UNTUK BASE FLOW



### 3.5. Analisa Sedimen

Dalam perencanaan suatu bendungan, keadaan sedimen suatu sungai merupakan parameter yang perlu diteliti. Pada sungai yang mempunyai kadar sedimen tinggi, kemungkinan tidak dapat dibuat bendungan dengan umur yang panjang karena cepatnya sedimentasi yang terjadi setelah bendungan tersebut dibangun.

Sedimentasi merupakan suatu proses pengendapan dari bahan berupa tanah, batu, tumbuhan dan lain-lain yang terbawa oleh aliran dari suatu tempat kemudian mengendap di tempat lain. Pengamatan sedimen disungai secara umum dapat dibedakan menjadi 3 golongan yaitu :

a. Muatan dasar ( Bed Load )

adalah material pada dasar sungai yang bergerak secara menggelinding, menggeser dan melompat-lompat akibat gaya seret (tractive force) dari aliran sungai.

b. Muatan melayang ( Suspended Load )

adalah material yang bergerak melompat-lompat dan melayang dalam aliran sungai.

c. Muatan kikisan ( Wash Load )

adalah partikel-partikel halus yang berukuran kurang dari 50  $\mu\text{m}$  dan tidak dapat mengendap pada dasar sungai dimana material tersebut melayang pada permukaan.



### 3.5.1. Suspended Load

Untuk menghitung besarnya jumlah angkutan suspensi yang melewati suatu penampang sungai dalam jangka waktu tertentu diperlukan data suspended load. Besarnya suspended load yang mengalir sepanjang tahun diperhitungkan dengan anggapan bahwa partikel-partikel yang melayang diangkut langsung bersama aliran dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan aliran, maka debit sedimentasi dapat dinyatakan sebagai perkalian antara debit aliran dengan kadar sedimen.

Adapun perumusannya adalah sebagai berikut :

$$Q_s = k * c * Q_w \quad [ 3.8 ]$$

dimana :

$Q_s$  = debit sedimen ( ton/hari )

$k$  = 0.00864 ( faktor korelasi satuan )

$c$  = konsentrasi sedimen ( mg/l )

$Q_w$  = debit aliran sungai ( m<sup>3</sup>/dt )

Dari perhitungan diatas ( besarnya debit sedimen  $Q_s$  berdasarkan data konsentrasi sedimen  $C$  dan debit aliran sungai  $Q_w$  ) dapat dicari harga korelasi antara debit sedimen dengan debit aliran sungai yang memakai suatu kurva dicari dengan cara Regresi power.

Adapun rumus matematikanya adalah sebagai berikut :

$$Q_s = c_1 (Q_w)^{c_2}$$

dimana :

$Q_s$  = debit sedimen (ton/hari)

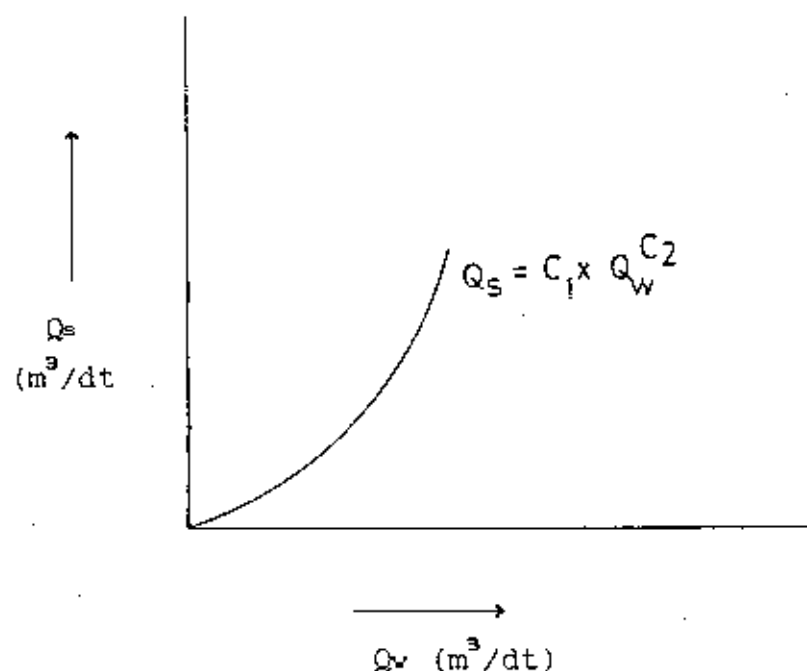
$Q_w$  = debit aliran air (  $m^3/dt$  )

$c_1, c_2$  = konstanta

Dengan menggunakan perhitungan statistik dapat dibuat suatu grafik hubungan antara debit sedimen dengan debit aliran.

Debit sebagai absis X (  $m^3/dt$  )

Suspended Load sebagai ordinat Y



Tabel III.35. Hasil Pengukuran dan Analisa  
Suspended Load Kali Ngindang

NO	Qw ( m <sup>3</sup> /dt )	C ( kg/l )	Qs ( ton/hari )
1	1,000	0,273	0,174
2	1,500	0,281	0,378
3	1,800	0,319	0,179
4	1,400	0,132	0,069
5	1,000	0,343	0,128
6	8,800	0,271	0,281
7	7,500	0,314	0,431
8	10,000	1,213	1,078
9	11,400	0,534	0,576
10	13,200	2,195	2,324
11	17,000	0,602	0,876
12	17,500	0,450	1,726
13	18,000	1,699	0,108
14	19,400	1,733	0,106
15	19,000	2,100	2,428
16	21,500	5,479	15,157
17	33,140	7,277	34,855
18	35,230	1,846	15,697
19	112,000	7,337	73,125
20	121,370	26,143	274,168
21	150,000	14,553	261,201
22	174,430	19,398	299,692
23	225,000	16,660	323,378
24	316,030	19,593	505,224
25	359,710	18,574	577,263
26	481,626	13,186	557,071

Tabel 111.36. Hasil perhitungan Suspended Load Kali Ngindang

NO	Q <sub>W</sub> ( M <sup>3</sup> /det )	C ( mg/l )	Q <sub>s</sub> ( ton/jari )	LOG Q <sub>W</sub> X	Log Q <sub>s</sub> Y	xy	X <sup>2</sup>
1	3,000	0,673	0,174	0,477	-0,758	-0,362	0,229
2	3,500	0,231	0,076	0,550	-1,121	-0,610	0,336
3	4,000	0,519	0,179	0,602	-0,746	-0,449	0,362
4	4,400	0,182	0,069	0,643	-1,160	-0,746	0,414
5	7,000	0,543	0,328	0,846	-0,484	-0,409	0,714
6	8,600	0,271	0,201	0,934	-0,697	-0,651	0,873
7	9,700	0,514	0,431	0,987	-0,365	-0,361	0,974
8	10,200	1,219	1,078	1,011	0,033	0,033	1,022
9	11,400	0,584	0,576	1,057	-0,240	-0,254	1,117
10	12,250	2,195	2,324	1,088	0,366	0,398	1,184
11	13,000	0,502	0,576	1,114	-0,170	-0,189	1,241
12	17,500	0,490	0,726	1,243	-0,139	-0,173	1,545
13	18,000	1,995	3,108	1,255	0,462	0,618	1,576
14	20,460	1,758	3,108	1,311	0,493	0,646	1,718
15	24,060	2,130	4,425	1,381	0,646	0,893	1,908
16	34,500	5,430	19,167	1,538	1,283	1,972	2,365
17	55,440	7,277	34,855	1,744	1,542	2,689	3,041
18	68,280	2,646	15,607	1,834	1,193	2,189	3,355
19	112,000	7,557	73,125	2,049	1,864	3,820	4,199
20	121,370	26,145	274,168	2,084	2,438	5,081	4,344
21	150,000	14,555	201,201	2,204	2,304	5,077	4,858
22	174,430	19,886	299,652	2,242	2,477	5,552	5,025
23	225,000	16,660	323,378	2,352	2,510	5,908	5,533
24	315,050	18,503	505,224	2,500	2,703	6,758	6,249
25	359,710	15,574	577,263	2,556	2,751	7,058	6,535
26	481,680	13,386	557,071	2,683	2,746	7,367	7,197
				32,315	19,972	51,813	67,920

Untuk mendapatkan angkutan suspended load rata-rata tahunan yang terjadi dibendungan Bendo dengancara memasukkan debit rata-rata tahunan didaerah DAS Ngindeng ke dalam persamaan diatas.

Perhitungan tersebut diperlihatkan pada tabel (Angkutan Suspended load) sebagai berikut:

### 3.5.2. Bed Load

Dalam memperhitungkan muatan dasar dipakai pendekatan dasar yang dilakukan oleh Borland dan Maddock ( Sedimentation .Studies for Planning of Reservoir by USBR IV Congress on large Dam's,1951 ). maka dibuat suatu hubungan antara konsentrasi Suspended Load, jenis material dan prosentase Bed Load terhadap suspended laod seperti tabel berikut :

deviasi. Dan dengan program ini juga, regrsi ini dibandingkan dengan regresi yang lain, yaitu regresi linear, regresi exponensial untuk memperoleh kolerasi yang paling tepat antara Qs dan Qw.

Dari hasil perhitungan tersebut diatas, didapatkan bahwa regresi power adalah yang menghasilkan penyimpangan yang paling kecil. Jadi untuk selanjutnya perhitungan angkutan suspended load berdasarkan pada persamaan Regresi Power.

Perhitungan dengan program STATGRAPHICS didapatkan perbandingan sebagai berikut :

REGRESI	PERSAMAAN	KOEFISIEN KORELASI	STANDAR DEVIASI
POWER	$Y = 0.006 X^{1.9535}$	0.9806	0.622
EXPONENSTAL	$Y = \text{EXP}(0.0035 + 0.02 X)$	0.8150	1.832
LINTER	$Y = -14.1394 + 1.435X$	0.9693	47.475

Untuk mendapatkan angkutan Suspended load rata-rata tahunan yang terjadi dibendungan Bendo dengan cara memasukkan debit rata-rata tahunan di daerah DAS Ngindeng ke dalam persamaan diatas. Perhitungan tersebut diperlihatkan pada tabel (Angkutan suspended load) sebagai berikut:

### 3.5.2. Bed Load

Dalam menghitung muatan dasar (Bed Load), digunakan formula dari Meyer-Peter Muller.

Perumusannya :

$$T = 8.b.d^{3/2} \sqrt{g.\Delta} \left[ \frac{\mu.h.i}{A.d} - 0.047 \right]^{3/2}$$

dimana :

T = Total bed load ( $m^3$ /hari)

b = lebar sungai (m)

d = diameter butir rata-rata (m)

g = gravitasi

$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_v}{\rho_v}$

h = kedalaman air (m)

i = kemiringan

$\mu = \left( \frac{C}{C_1} \right)^{3/2}$

$C = \frac{V}{\sqrt{h.i}}$ ,  $C_1 = 18 \log \frac{12.h}{d_{90}}$

Tabel III. 37.

Perhitungan Angkutan Suspended Load

Tahun	Debit [m <sup>3</sup> /dt]	Sedimen [t/hari]	Sedimen [t/th]
1963	4,090	0,125	45,749
1964	4,000	0,120	43,803
1965	3,300	0,082	30,082
1966	4,170	0,130	47,514
1967	2,180	0,037	13,383
1968	4,080	0,125	45,531
1969	2,840	0,061	22,436
1970	4,150	0,129	47,070
1971	3,700	0,103	37,615
1972	2,580	0,051	18,599
1973	4,830	0,140	51,140
1974	3,910	0,115	41,899
1975	3,420	0,088	32,255
1976	3,260	0,080	29,373
1951	2,980	0,047	17,216
1952	5,220	0,202	73,680
1953	3,770	0,107	39,018
1954	5,130	0,195	71,219
1955	4,080	0,122	44,447
1956	2,490	0,048	17,352
1957	3,790	0,100	39,423
1958	3,860	0,112	40,858
1959	2,670	0,101	37,022
1960	3,370	0,086	31,341
1961	2,920	0,045	16,412
1962	4,000	0,120	43,803
Total			978,243
Rata-rata per tahun			37,625



TABEL PENGAMATAN BED LOAD

No	H	Q	d90	d50	h	b	i	T
	(m)	(m <sup>3</sup> /dt)	(%)	(m)	(m)	(m)		(m <sup>3</sup> /dt)
1	15	3,000	0,010	0,602	0,196	33	0,004	0,010
2	17	3,800	0,190	0,004	0,480	32	0,004	0,063
3	18	4,000	0,060	0,026	0,619	33	0,004	1,368
4	20	4,400	0,110	0,002	0,556	33	0,004	0,013
5	26	8,600	0,011	0,002	0,741	33	0,004	0,011
6	29	9,700	0,016	0,004	0,527	33	0,004	0,015
7	30	10,500	0,018	0,005	0,592	33	0,004	0,096
8	32	11,400	0,110	0,003	0,853	33	0,004	0,012
9	36	12,250	0,018	0,003	0,692	33	0,004	0,020
10	42	17,500	0,060	0,009	0,968	33	0,004	2,050
11	44	18,000	0,017	0,004	0,714	33	0,004	0,051
12	45	20,600	0,019	0,003	0,741	33	0,004	0,046

No	Q	T	Log Q	Log T	XY	X <sup>2</sup>
	(m <sup>3</sup> /dt)	(m <sup>3</sup> /hr)	(X)	(Y)		
1	17,500	2,050	1,747	0,312	0,388	1,545
2	4,000	1,366	0,602	0,136	0,082	0,362
3	10,500	0,096	1,021	-1,012	-1,039	1,043
4	9,700	0,015	0,987	-1,824	-1,800	0,974
5	20,600	0,046	1,314	-1,337	-1,757	1,726
6	8,600	0,011	0,934	-1,959	-1,820	0,873
7	12,250	0,020	1,088	-1,699	-1,849	1,184
8	3,000	0,010	0,477	-2,000	-0,954	0,228
9	16,000	0,051	1,255	-1,392	-1,622	1,576
10	11,400	0,012	1,057	-1,921	-2,030	1,117
11	3,800	0,063	0,580	-1,201	-0,696	0,336
12	4,400	0,013	0,643	-1,886	-1,214	0,414
			11,202	-15,689	-14,372	11,378

$$- 15,698 - 12 \log C_1 - 11,202 C_2 = 0$$

$$- 14,332 - 11,202 \log C_1 - 11,378 C_2 = 0$$

$$- 138,965 - 134,412 \log C_1 - 125,462 C_2 = 0$$

$$\begin{array}{r} - 144,420 - 134,412 \log C_1 - 136,500 C_2 = 0 \\ - 14,545 \qquad \qquad \qquad + 11,038 C_2 = 0 \end{array}$$

$$C_2 = 1,3177$$

$$- 14,192 - 12 \log C_1 - 11,201 \cdot 1,3177 = 0$$

$$- 14,192 - 12 \log C_1 - 14,760 = 0$$

$$C_1 = 0,0038$$

Jadi persamaan yang didapat untuk Bed Load adalah :

$$Q_b = 0,0038 Q_w^{1,3177}$$

Untuk mendapatkan angkutan Bed load rata-rata tahunan yang terjadi di Bendungan Bendo yaitu dengan memasukkan debit rata-rata tahunan di daerah DAS Ngindeng ke dalam persamaan tersebut diatas, sehingga didapatkan seperti dalam tabel berikut.

## PERHITUNGAN ANGGARAN BED LOAD

Tahun	Debit [m <sup>3</sup> /dt]	Sedimen [T/hari]	Sedimen [T/th]
1963	4,090	0,0243	8,875
1964	4,000	0,0236	8,618
1965	3,300	0,0183	6,688
1966	4,170	0,0247	9,104
1967	2,180	0,0106	3,877
1968	4,080	0,0242	8,846
1969	2,840	0,0156	5,485
1970	4,130	0,0248	9,046
1971	3,700	0,0213	7,777
1972	2,580	0,0132	4,836
1973	4,330	0,0262	9,567
1974	3,910	0,0229	8,365
1975	3,420	0,0192	7,011
1976	3,260	0,0180	6,582
1951	2,480	0,0126	4,590
1952	5,220	0,0335	12,239
1953	3,770	0,0216	7,971
1954	5,130	0,0328	11,982
1955	4,030	0,0238	8,706
1956	2,490	0,0124	4,815
1957	1,790	0,0070	2,027
1958	3,860	0,0225	8,277
1959	3,670	0,0211	7,890
1960	3,370	0,0188	6,876
1961	2,420	0,0122	4,448
1962	4,000	0,0236	8,618
Total			198,637
Rata-rata per tahun			7,640

### 3.5.3. Jumlah Angkutan Sedimen dalam sungai

Jumlah angkutan suspended load dan bed load dapat ditentukan dengan cara menjumlahkan suspended load dan bed load. Jumlah angkutan suspended load adalah 37,625 ton/tahun, dan jumlah angkutan bed load adalah 7,640 ton/tahun.

Jadi total angkutan sedimen =

$$37,625 + 7,640 = 45,265 \text{ ton/tahun}$$

### 3.5.4. Pengendapan Sedimen dalam Waduk

Dalam menentukan besarnya pengendapan sedimen dalam waduk, maka harus diperhatikan masalah faktor rapat massa dari sedimen dan trap efisiensi.

#### Menentukan Rapat Massa

Untuk menentukan rapat massa sediment dalam waduk selama T tahun dipakai perumusan dari Lane & Koelzer, yang memperkirakan rapat massa diwaduk sebagai berikut :

$$pbT = pbL + B \log T \quad [ 3.9 ]$$

dimana :

T = waktu dalam tahun

B = koefisien konsolidasi

pbL = rapat massa diambil harganya setelah 1 tahun konsolidasi operasi waduk sedimen selalu terbenam, maka harga  $pb1 = 1050$  dan  $B = 90$

$$pbT = 1050 + 90 \log T$$

$$= 1050 + 90 * \log 60 = 1210,03 \text{ kg/m}^3$$

Jadi rapat massa setelah 40 tahun =  $1210.03 \text{ kg/m}^3$

Total sediment yang masuk kedalam waduk adalah :

$$= \frac{45.265 \times 10^3}{1210.03} = 37.41 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

#### TRAF EFISIENSI

Traf efisiensi adalah perbandingan antara banyaknya sedimen yang diendapkan dan total sedimen inflow. Untuk memperoleh traf efisiensi didapat dari grafik hubungan antara prosentasi sedimen traf dengan angka perbandingan kapasitas aliran inflow yang dibuat oleh GUNAR BRUNE ( Design os Small Dam ).

Debit rata-rata bulanan =  $3.65 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

Volume inflow selama satu tahun =

$$3.65 \times 365 \times 24 \times 3600 = 115.106.400 \text{ m}^3$$

Kapasitas Reservoir didapat dari lengkung kapasitas sebesar  $32.94 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

$$\text{jadi kapasitas inflow ratio} = \frac{32.94 \times 10^6}{115.106 \times 10^6} = 0.30$$

Dari gambar 3.4 didapat sediment trapped = 93 %, maka volume sediment selama 60 tahun =

$$93 \% \times 37.41 \times 60 = 2.1 \times 10^6 \text{ m}^3.$$

Sehingga elevasi dead storage dapat ditentukan pada posisi + 155 m.

STUDI PENDAHULUAN  
BENDUNGAN BENDO DI KABUPATEN PONOROGO, JAWA TIMUR

GAMBAR - 3.4

DESIGN OF SMALL DAMS

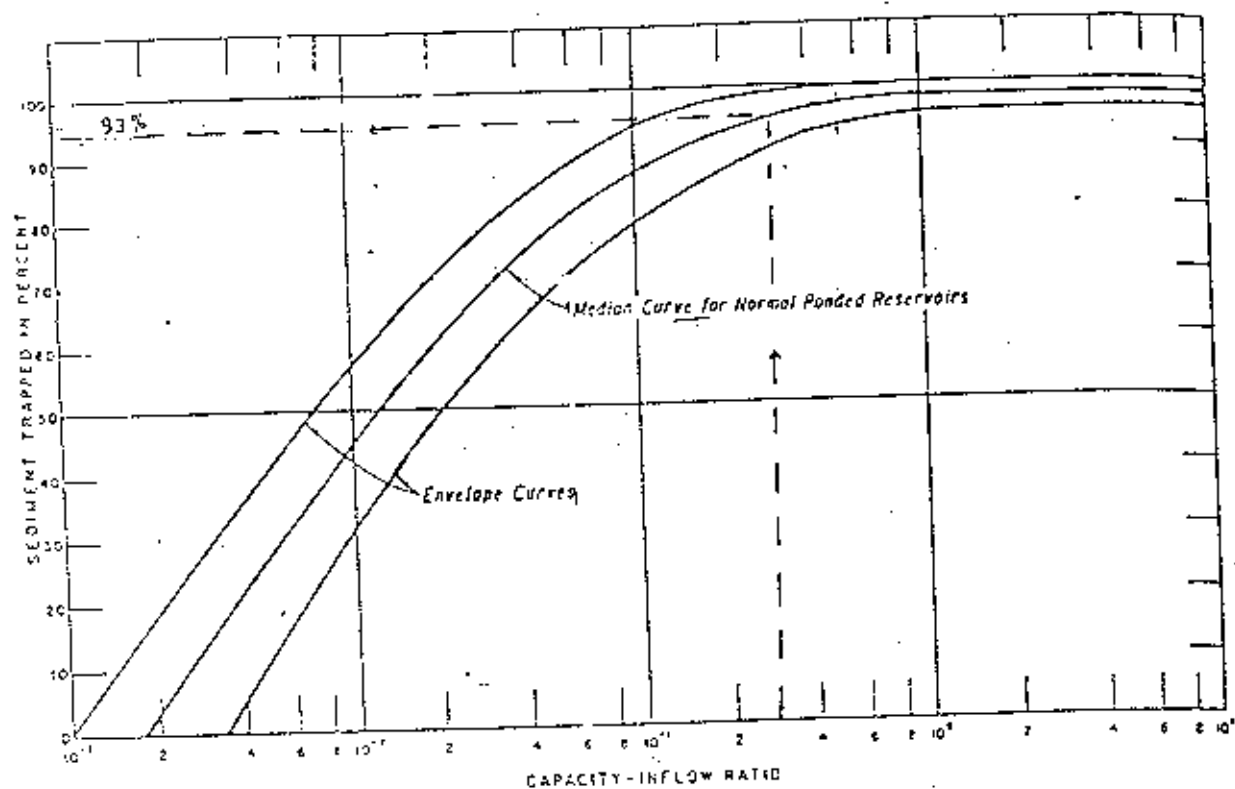


Figure M-4. Reservoir trap efficiency. Adopted from Bruce [14]. 268-D-2845.

TABEL 11.33. PERHITUNGAN DEBIT ANDALAH SUNGAI NGIRBENG

INTERVAL DEBIT	TIKSA TENGAH DEBIT (m <sup>3</sup> /dt)	FREK	FREK KUM	PROSENTASE (%)
13	13,5	1	1	0,32
12,5	12,5	0	1	0,32
12	12,5	2	3	0,96
11,5	11,5	0	3	0,96
11	11,5	4	7	2,24
10,5	10,5	4	11	3,52
10	10,5	4	15	4,81
9,5	9,5	3	18	5,77
9	9,5	5	23	7,37
8,5	8,5	10	33	10,58
8	8,5	11	44	14,10
7,5	7,5	12	56	17,75
7	7,5	14	66	21,15
6,5	6,5	10	76	24,26
6	6,5	12	88	28,21
5,5	5,5	7	95	30,45
5	5,5	14	109	34,34
4,5	4,5	17	126	40,39
4	4,5	19	136	43,39
3,5	3,5	11	147	47,12
3	3,5	8	153	49,04
2,5	2,5	10	163	52,24
2	2,5	8	171	54,61
1,5	1,5	13	186	59,42
1	1,5	10	196	62,62
0,5	0,5	17	213	68,27
0	0,5	99	312	100,00

### 3.4. Perhitungan Debit Andalan

Perhitungan debit andalan dilakukan untuk mengetahui atau mengetahui besarnya debit yang terjadi sepanjang tahun pada musim kemarau dengan kesalahan yang diperhitungkan.

Untuk perhitungan debit andalan ini ditetapkan debit andalan 70 % ( Q70 ) yaitu debit yang kemungkinan terjadi atau terlampaui adalah sebesar 70 %, yang berarti risiko yang akan dihadapi karena terjadinya debit yang lebih kecil dari debit andalan adalah 30 % dari banyaknya pengamatan.

Dalam menghitung besarnya debit baseflow yang terjadi dipergunakan sungai Ngindeng ini dipakai perhitungan debit andalan baseflow, hal ini disebabkan karena data baseflow untuk Ngindeng tidak ada pengamatan. Debit andalan ditetapkan dengan debit andalan 70 % (Q70) dari debit terkecil dalam data tahun selama 26 tahun. sebagai perhitungan debit andalan baseflow dapat dilihat pada tabel III.34.



## B A B IV

### ANALISA PEMANFAATAN AIR

#### 4.1. UMUM

Sesuai dengan tujuan pokok dari pembangunan bendungan Bendo yang digunakan untuk pengembangan irigasi dan pembangkit tenaga air, maka perlu adanya analisa mengenai pemanfaatan air untuk irigasi dan tenaga listrik. Didalam analisa pemanfaatan air untuk irigasi dan tenaga air perlu diperhitungan antara lain :

- Kondisi daerah irigasi

Kondisi suatu daerah yang digunakan untuk irigasi sangat besar pengaruhnya terhadap lokasi daerah pengairan, karakteristik daerah serta luas daerah. Untuk daerah bendungan Bendo luas daerah yang akan diairi sebesar 3400 Hektar.

- Perhitungan kebutuhan air irigasi

Untuk menghitung kebutuhan air irigasi yang ditunjang oleh perhitungan konsumtif use dan lain-lain dipergunakan Standart Perencanaan Irigasi SPI KP01 1986. Perhitungan kebutuhan air untuk irigasi mempergunakan data klimatologi dari stasiun Jiwan-Madiun dari tahun 1976-1978 untuk mengetahui besarnya evapotranspirasi, sedangkan untuk

menghitung kebutuhan air irigasi dipergunakan 2 (dua) macam cara :

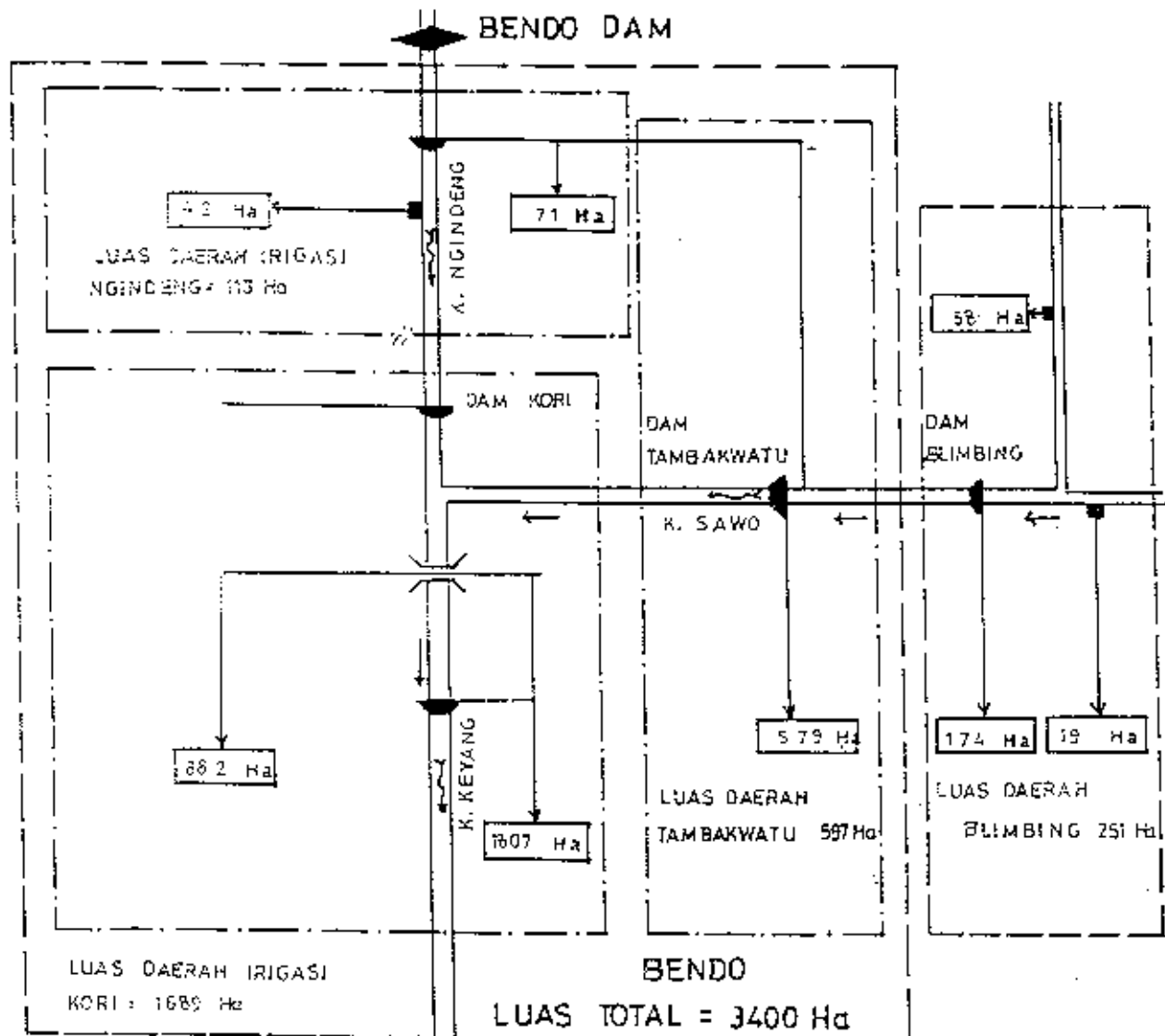
1. kebutuhan air disawah untuk padi
2. kebutuhan air disawah untuk polowijo dan tebu

Sedangkan metode yang digunakan untuk menghitung evapotranspirasi dipakai perumusan Penman, dan untuk curah hujan efektif dipakai curah hujan tengah bulanan dengan periode ulang 5 tahun

- Perhitungan kebutuhan air untuk tenaga air

Dalam perhitungan kebutuhan air tersebut perlu ditentukan terlebih dahulu besarnya kapasitas waduk, sehingga dapat diketahui elevasi yang diperlukan. Selain itu ditentukan pula diameter penstock, kapasitas pembangkitan serta besarnya energi yang dihasilkan.

SITUASI DAERAH IRIGASI BENDO



SKET : DAERAH IRIGASI BENDO

#### 4.2. PEMANFAATAN AIR UNTUK IRIGASI

Pada hakekatnya pemberian air bagi tanaman pertanian dalam suatu daerah pengairan adalah berbeda-beda, yang tergantung pada beberapa faktor antara lain :

- jenis tanaman
- pola tanam dan masa tanam
- cara bercocok tanam
- evapotranspirasi
- peresapan (infiltrasi)
- crop consumptive use
- kebutuhan air untuk persemaian, perkolasi dan pengolahan tanah
- curah hujan efektif
- efisiensi irigasi

Jenis tanaman yang cocok pada suatu daerah pengairan, jelas memerlukan zat tumbuh, yang diantaranya adalah air. Untuk tiap jenis tanaman, keperluan ini tentunya akan berbeda-beda selama masa pertumbuhannya.

Demikian juga kondisi klimatologi daerah pengairan juga sangat besar pengaruhnya terhadap pemberian air untuk tanaman, diantaranya :

- penguapan (evaporasi)
- infiltrasi

- perkolasi
- evapotranspirasi dan presipitasi

Selain masalah di atas, besarnya pemberian air tanaman tiap waktunya juga dipengaruhi oleh kondisi fisik dari saluran pembawa dan bangunan air yang ada.

#### 4.2.1. KONDISI DAERAH PENGAIRAN

Daerah irigasi Bendo terletak disebelah selatan dari kota Ponorogo, sepanjang Pegunungan Wilis - Dorowati. Luas daerah Bendo yang digunakan untuk pengairan seluas 3400 Ha. Daerah proyek ini termasuk Kabupaten Ponorogo yang terdiri dari 11 kecamatan, sedangkan daerah irigasi yang direncanakan untuk dikembangkan menjadi irigasi teknis seluas  $\pm$  3400 Ha.

#### 4.2.2. KARAKTERISTIK DAERAH PENGAIRAN

Karakteristik daerah pengairan adalah keadaan daerah yang berkaitan dengan pemberian air irigasi pada daerah pengairannya. Dalam hal ini faktor - faktor yang mempengaruhi pemberian air irigasi adalah sebagai berikut :

- luas daerah pengairan
- cara pemberian air
- klasifikasi tanah daerah pengaliran

- penguapan (evaporasi)
- peresapan (infiltrasi)
- hujan yang jatuh
- kecocokan jenis tanaman
- kemungkinan pengetrapan beberapa pola tanam dan waktu tanam

Dari faktor - faktor di atas dapatlah direncanakan berapa atau banyaknya pemberian air yang disesuaikan dengan potensi air irigasi yang tersedia, sehingga untuk selanjutnya dapat dianalisa nilai optimum dengan berbagai pola tanam.

#### 4.2.3. PERHITUNGAN KEBUTUHAN AIR

Untuk memperhitungkan kebutuhan air irigasi, maka harus diperhitungkan terlebih dahulu faktor-faktor yang menentukan untuk perhitungan kebutuhan air yaitu :

1. kebutuhan air disawah untul padi
2. kebutuhan air disawah untuk polowijo dan tebu

##### 4.2.3.1. Kebutuhan air di sawah untuk Padi

Perhitungan kebutuhan air di sawah (Dr) yang digunakan untuk tanaman padi, banyak dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

- a. Penyiapan lahan ( PWR )

b. Jumlah air yang dibutuhkan untuk penyiapan lahan berdasarkan SPI-KP01 disarankan :

1. Untuk tanah bertekstur berat tanpa retak-retak, kebutuhan air untuk penyiapan lahan diambil 200 mm, ini termasuk air untuk penjemuran dan pengolahan tanah
2. Setelah transplantasi lapisan air di sawah ditambah 50 mm, sehingga keseluruhannya diperlukan air sebesar 250 mm
3. Bila lahan terlalu kering ( bero > 2.5 bulan ), air yang diperlukan untuk penyiapan lahan adalah 300 mm termasuk 50 mm untuk penggenangan awal.

Didalam perhitungan penyiapan lahan diperlukan perumusan dari Van de Goor dan Zylstra dengan dasar bahwa laju air konstan selama periode penyiapan lahan.

Rumus Penyiapan lahan :

$$IR = \frac{M * e^k}{e^k - 1} \quad [ 4.1 ]$$

$$K = \frac{M * T}{S}$$

dimana :

IR = kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan dalam mm/hari

M = kebutuhan air untuk mengganti penguapan dan

perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan (mm)

$$= E_o + P$$

$E_o$  = penguapan air bebas ( mm/hari )

$$= 1,1 E_{To}$$

$P$  = perkolasi ( mm/hari )

$T$  = jangka waktu penyiapan lahan

$S$  = kebutuhan air untuk penjenuhan ditambah dengan lapisan 50 mm, sehingga 250 mm

#### Penggunaan Konsumtif

Rumus :

$$ET_c = K_c * E_{To} \quad [ 4.2 ]$$

dimana :

$ET_c$  = Evapotranspirasi tanaman ( mm/hari )

$E_{To}$  = Evapotranspirasi tanaman acuan ( mm/hari )

$K_c$  = koefisien tanaman

Evapotranspirasi tanaman acuan adalah evapotranspirasi tanaman yang dijadikan acuan yaitu rumput-rumput pendek. Evapotranspirasi tanaman acuan ( $E_{To}$ ) bisa dihitung dari kondisi yang berdasarkan meteorologi seperti temperatur, radiasi matahari, kelembaban dan angin.

Dengan menggunakan perumusan Penman yang sudah dimodifikasi, maka besarnya evapotranspirasi dapat



dihitung yang didasarkan atas tanaman acuan yaitu :

$$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + 0,27} \cdot \frac{H + 0,27}{\Delta + 0,27} \cdot \frac{E_a}{\Delta + 0,27} \quad [4.3.]$$

$$H = R_a (1-r) (0,18+0,55 n/N) - \sigma T_a^4 (0,56-0,092 e_a) \\ (0,10+0,9 n/N)$$

$$E_a = 0,35 (e_s - e_a) (1+0,00982 U_2)$$

$$e_a = h \cdot e_s$$

dimana :

$ET_o$  = Evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari)

$H$  = radiasi netto (mm/hari)

$R_a$  = radiasi extra terestial bulanan rata-rata mm/hari, tabel IV.1.

$r$  = koefisien refleksi pada permukaan, tabel IV.2

$n/N$  = prosentase penyinaran matahari

= konstanta Boltzman

$N$  = lamanya kecerahan sinar matahari yang dimungkinkan secara maksimal, tabel IV.4.

$\sigma T_a^4$  = dalam mm/hari, tabel IV.3.

$e_s$  = tekanan uap jenuh di udara dengan temperatur rata-rata  $^{\circ}C$  ( mmHg ). gambar 4.1.

$e_a$  = tekanan uap air jenuh di udara dengan temperatur rata-rata  $t_c$  ( mmHg )

$h$  = kelembaban rata-rata bulanan ( % )

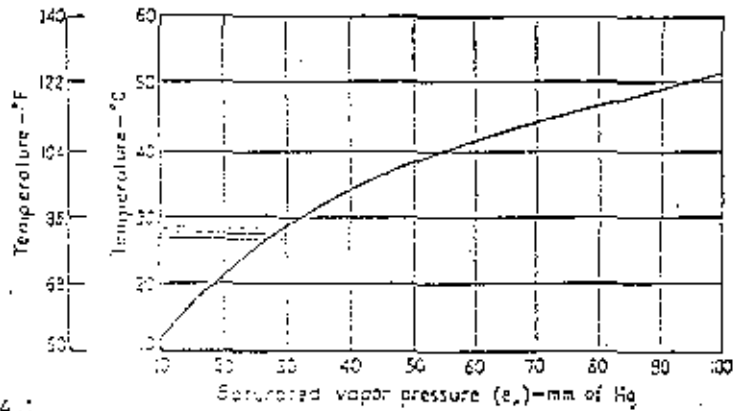
$U_2$  = kecepatan angin rata-rata pada ketinggian 2 m

di atas permukaan (mil/hari)

- $\Delta$  = kemiringan kurva tekanan uap jenuh pada  
temperatur  $T_a$  ( $^{\circ}\text{k}$ ) dalam  $\text{mmHg}/^{\circ}\text{k}$ , gambar 4.2  
 $n$  = lamanya kecerahan matahari dalam 1 hari (jam)

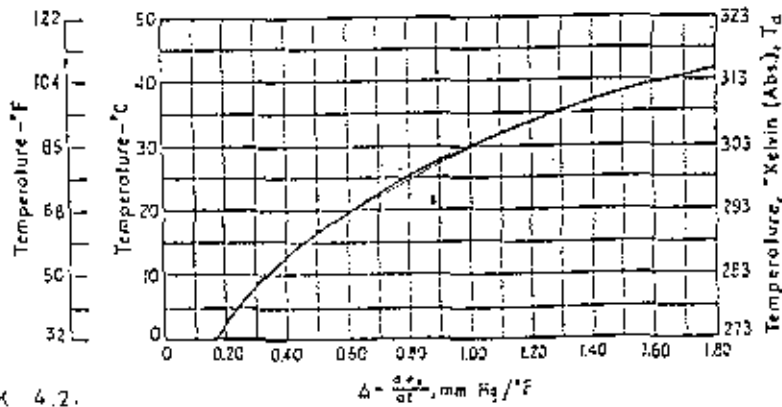
Untuk perhitungan evapotranspirasi digunakan data klimatologi dari stasiun yang paling dekat yaitu stasiun Jiwan-Madiun, dan lokasinya  $7^{\circ}38'10''\text{LS}$ .

Data klimatologi rata-rata bulanan dapat dilihat pada tabel berikut ini.



GRAFIK 4.1.

Temperature VS saturated vapor pressure.  
(After Griddle).



GRAFIK 4.2.

Temperatur VS.  $\Delta$ .

TABLE IV.1.  
 MID-MONTHLY INTENSITY OF SOLAR RADIATION ( $R_a$ ) ON A HORIZONTAL SURFACE IN MM OF WATER EVAPORATED PER DAY.<sup>1</sup>  
 (After Chiddister)

Northern Hemisphere										Southern Hemisphere									
90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	
Jan.	..	..	1.3	3.6	6.0	8.5	10.8	12.8	14.5	15.8	16.8	17.3	17.3	17.1	16.6	16.5	17.3	17.6	
Feb.	..	1.1	3.5	5.9	8.3	10.5	12.3	13.9	15.0	15.7	16.0	15.8	15.2	14.1	12.7	11.2	10.5	10.7	
Mar.	1.3	4.3	6.8	9.1	11.0	12.7	13.9	14.8	15.2	15.1	14.0	13.6	12.2	10.5	8.4	6.1	3.6	1.9	
Apr.	7.9	7.8	9.1	11.1	12.7	13.9	14.8	15.2	14.7	13.8	12.5	10.3	8.8	6.6	4.3	1.9	..	..	
May	14.9	14.6	13.0	14.6	15.4	16.0	15.7	15.0	13.9	12.4	10.7	8.7	6.4	4.1	1.9	0.1	..	..	
June	18.1	17.8	17.0	16.5	16.7	16.5	15.8	14.8	13.4	11.6	9.6	7.4	5.1	2.8	0.8	..	..	..	
July	16.8	16.5	15.8	15.7	16.1	16.2	15.7	14.8	13.5	11.9	10.0	7.8	5.6	3.3	1.2	..	..	..	
Aug.	11.2	10.6	11.4	12.7	13.9	14.8	15.3	15.0	14.2	13.0	11.5	9.6	7.5	5.2	2.9	0.8	..	..	
Sept.	2.6	4.0	6.8	8.5	10.5	12.2	13.5	14.4	14.9	14.1	13.5	12.1	10.5	8.5	6.2	3.8	1.3	..	
Oct.	..	0.2	2.4	4.7	7.1	9.3	11.3	12.9	14.1	15.0	15.3	15.3	14.8	13.8	12.5	10.7	8.8	7.1	
Nov.	..	..	0.1	1.9	4.3	6.7	9.1	11.2	13.1	14.6	15.7	16.4	16.7	16.5	16.0	15.2	14.5	15.0	
Dec.	..	..	..	0.9	3.0	5.5	7.9	10.3	12.1	14.3	15.8	16.9	17.6	17.8	17.5	18.1	18.0	19.3	

<sup>1</sup> Computed from "Manual of Meteorology" by Napier Shaw, Vol. II, Comparative Meteorology, 2nd Edition, Cambridge University Press, 1936, pp. 4 and 5.

Note: Values from the table by Shaw multiplied by 0.86 and divided by 59 give the radiation in mm of water per day.

TABEL 4.7. KOEFISIEN REFLAKSI (r) DALAM %

Open Water .....	6
R o c k .....	12 - 15
Dry mould .....	14
Wet mould .....	8 - 9
G r a s s .....	10 - 33
Green vegetation (general figure).	20

TABEL 4.8. VALUES OF  $\sigma T_a^4$  FOR VARIOUS TEMPERATURES WHEN COMPUTING EVAPOTRANSPIRATION BY THE PENMAN METHOD (AFTER CRIDDLE).

Temperature	$\sigma T_a^4$	Temperature	$\sigma T_a^4$
$^{\circ}\text{Abs}$	mm H <sub>2</sub> O/day	$^{\circ}\text{F}$	mm H <sub>2</sub> O/day
270	10.73	35	11.48
275	11.51	40	11.96
280	12.40	45	12.45
285	13.20	50	12.94
290	14.26	55	13.45
295	15.30	60	13.96
300	16.34	65	14.52
305	17.46	70	15.10
310	18.60	75	15.65
315	19.85	80	16.25
320	21.15	85	16.85
325	22.50	90	17.46
		95	18.10
		100	18.80

Note: Heat of vaporization was assumed to be constant at 590 cal/gm of H<sub>2</sub>O.

Tabel V.4

Mean Daily Duration of Maximum Possible Sunshine Hours (H<sub>m</sub>) for Different Months and Latitudes

Northern Lats	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept.	Oct	Nov	Dec
Southern Lats	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June
50°	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.1	15.9	14.5	12.7	10.6	9.1	6.1
48	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	6.3
46	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	6.7
44	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.6	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9
42	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.5	14.9	13.9	12.6	11.1	9.6	9.1
40	9.6	10.7	11.9	13.3	14.5	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.3
30	10.4	11.1	12.0	12.9	13.5	14.0	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.4
20	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.5	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.5	11.4	11.2
10	11.6	11.6	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.1	12.1	12.0	11.9	11.8
0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0

Sumber : Sholeh, Moehammad, Ir., "Diktat Irigasi VI TS 1542"

Tabel IV.5.

Klimatologi rata-rata bulanan di Stasiun Jiwan

Bulan	Temperatur °C	Kelembaban %	Kec. angin km/jam	Jam Penyinaran
Jan	27,1	74,35	5,98	4,5
Peb	26,6	74,6	4,43	5,2
Mar	26,8	73,86	4,5	5,3
Apr	26,4	69,45	4,28	6,3
Mei	26,75	69,1	4,36	6,2
Jun	25,1	69,9	4,75	7,0
Juli	23,55	66,75	5,44	7,4
Ags	23,95	63,95	5,70	7,3
Sep	24,50	62,60	3,46	7,3
Okt	25,45	62,20	5,47	7,0
Nop	24,85	69,50	4,50	5,8
Des	24,05	67,70	5,51	5,0

Sumber ; Proyek Bengawan Solo

Prosedur Perhitungan :

data bulan januari

- temperatur rata-rata = 27,1 °C

- kelembaban = 73,35 %

- kecepatan angin = 5,98 km/jam

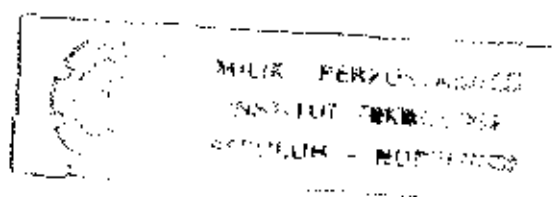
- jam penyinaran = 4,5 jam

- lokasi  $7^{\circ}38'10''$  } tabel IV.4.  
 bulan januari, }  $N = 12,46$  jam
- $n/N = \frac{4,5}{12,46} = 36,1 \%$
- $U_2 = 5,98 * 0,6214 = 3,72$  mil/jam
- tabel IV.1.  
 $> RA = 15,490$   
 lokasi  $7^{\circ}38'11''$
- $r$  dari tabel IV.2,  $r = 0,25$
- $T_a = 273 + 27,1 = 300,1$   $^{\circ}K$
- tabel IV.3.  
 $> \sigma T_a = 16,362$  mm/hari  
 temperatur =  $300,1$
- gambar 4.1.  
 $> 26,90$  mmHg  
 temperatur =  $27,1$   $^{\circ}C$
- $ea = h * es = 73,55\% * 26,90 = 20,00$  mmHg
- $H = RA(1-r) * (0,18 + 0,55 n/N) - \sigma T_a(0,56 - 0,092 ea)$   
 $(0,10 + 0,9 n/N)$
- $15,490(1-0,25)(0,18 + 0,55 * 0,361) - 16,362(0,56 - 0,092 * 20)$   
 $(0,10 + 0,9 * 0,361)$
- $3,609$
- $Ea = 0,35(es - ea)(1 + 0,0098 * U_2)$
- $0,35(26,55 - 19,528)(1 + 0,0098 * 3,72)$
- $2,503$
- gambar 4.2 }  
 $T = 27,1$   $^{\circ}C$  }  $\Delta = 0,9$  mmHg/k



$$\begin{aligned} - ETo &= \frac{\Delta * H + 0,27 * Ea}{\Delta + 0,27} \\ &= \frac{0,9 * 3,367 + 0,27 * 2,503}{0,9 + 0,27} \\ &= 3,168 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

Untuk bulan selanjutnya, perhitungan evapotranspirasi dengan metode Penman dapat dilihat pada tabel IV.6.



15416196, 15416197, 15416198, 15416199, 15416200, 15416201, 15416202, 15416203, 15416204, 15416205, 15416206, 15416207, 15416208, 15416209, 15416210, 15416211, 15416212, 15416213, 15416214, 15416215, 15416216, 15416217, 15416218, 15416219, 15416220, 15416221, 15416222, 15416223, 15416224, 15416225, 15416226, 15416227, 15416228, 15416229, 15416230, 15416231, 15416232, 15416233, 15416234, 15416235, 15416236, 15416237, 15416238, 15416239, 15416240, 15416241, 15416242, 15416243, 15416244, 15416245, 15416246, 15416247, 15416248, 15416249, 15416250, 15416251, 15416252, 15416253, 15416254, 15416255, 15416256, 15416257, 15416258, 15416259, 15416260, 15416261, 15416262, 15416263, 15416264, 15416265, 15416266, 15416267, 15416268, 15416269, 15416270, 15416271, 15416272, 15416273, 15416274, 15416275, 15416276, 15416277, 15416278, 15416279, 15416280, 15416281, 15416282, 15416283, 15416284, 15416285, 15416286, 15416287, 15416288, 15416289, 15416290, 15416291, 15416292, 15416293, 15416294, 15416295, 15416296, 15416297, 15416298, 15416299, 15416300, 15416301, 15416302, 15416303, 15416304, 15416305, 15416306, 15416307, 15416308, 15416309, 15416310, 15416311, 15416312, 15416313, 15416314, 15416315, 15416316, 15416317, 15416318, 15416319, 15416320, 15416321, 15416322, 15416323, 15416324, 15416325, 15416326, 15416327, 15416328, 15416329, 15416330, 15416331, 15416332, 15416333, 15416334, 15416335, 15416336, 15416337, 15416338, 15416339, 15416340, 15416341, 15416342, 15416343, 15416344, 15416345, 15416346, 15416347, 15416348, 15416349, 15416350, 15416351, 15416352, 15416353, 15416354, 15416355, 15416356, 15416357, 15416358, 15416359, 15416360, 15416361, 15416362, 15416363, 15416364, 15416365, 15416366, 15416367, 15416368, 15416369, 15416370, 15416371, 15416372, 15416373, 15416374, 15416375, 15416376, 15416377, 15416378, 15416379, 15416380, 15416381, 15416382, 15416383, 15416384, 15416385, 15416386, 15416387, 15416388, 15416389, 15416390, 15416391, 15416392, 15416393, 15416394, 15416395, 15416396, 15416397, 15416398, 15416399, 15416400, 15416401, 15416402, 15416403, 15416404, 15416405, 15416406, 15416407, 15416408, 15416409, 15416410, 15416411, 15416412, 15416413, 15416414, 15416415, 15416416, 15416417, 15416418, 15416419, 15416420, 15416421, 15416422, 15416423, 15416424, 15416425, 15416426, 15416427, 15416428, 15416429, 15416430, 15416431, 15416432, 15416433, 15416434, 15416435, 15416436, 15416437, 15416438, 15416439, 15416440, 15416441, 15416442, 15416443, 15416444, 15416445, 15416446, 15416447, 15416448, 15416449, 15416450, 15416451, 15416452, 15416453, 15416454, 15416455, 15416456, 15416457, 15416458, 15416459, 15416460, 15416461, 15416462, 15416463, 15416464, 15416465, 15416466, 15416467, 15416468, 15416469, 15416470, 15416471, 15416472, 15416473, 15416474, 15416475, 15416476, 15416477, 15416478, 15416479, 15416480, 15416481, 15416482, 15416483, 15416484, 15416485, 15416486, 15416487, 15416488, 15416489, 15416490, 15416491, 15416492, 15416493, 15416494, 15416495, 15416496, 15416497, 15416498, 15416499, 15416500, 15416501, 15416502, 15416503, 15416504, 15416505, 15416506, 15416507, 15416508, 15416509, 15416510, 15416511, 15416512, 15416513, 15416514, 15416515, 15416516, 15416517, 15416518, 15416519, 15416520, 15416521, 15416522, 15416523, 15416524, 15416525, 15416526, 15416527, 15416528, 15416529, 15416530, 15416531, 15416532, 15416533, 15416534, 15416535, 15416536, 15416537, 15416538, 15416539, 15416540, 15416541, 15416542, 15416543, 15416544, 15416545, 15416546, 15416547, 15416548, 15416549, 15416550, 15416551, 15416552, 15416553, 15416554, 15416555, 15416556, 15416557, 15416558, 15416559, 15416560, 15416561, 15416562, 15416563, 15416564, 15416565, 15416566, 15416567, 15416568, 15416569, 15416570, 15416571, 15416572, 15416573, 15416574, 15416575, 15416576, 15416577, 15416578, 15416579, 15416580, 15416581, 15416582, 15416583, 15416584, 15416585, 15416586, 15416587, 15416588, 15416589, 15416590, 15416591, 15416592, 15416593, 15416594, 15416595, 15416596, 15416597, 15416598, 15416599, 15416600, 15416601, 15416602, 15416603, 15416604, 1541

[illegible]

Koefisien Tanaman

Untuk menghitung pengaruh dari karakteristik tanaman terhadap kebutuhan air untuk tanaman (Crop Water Requirement), maka koefisien tanaman  $k$  dimasukkan sebagai faktor evapotranspirasi terhadap evapotranspirasi tanaman.

Didiera pengembangan irigasi Bendo, padi yang ditanam direncanakan jenis padi varietas unggul. Harga koefisien tanaman padi dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel IV.7.

Harga-harga koefisien tanaman Padi

Bulan	Nadeco/Prosida		FAO	
	Varietas biasa	Varietas unggul	Varietas biasa	Varietas unggul
0,5	1,20	1,20	1,10	1,10
1	1,20	1,27	1,10	1,10
1,5	1,32	1,33	1,10	1,05
2	1,40	1,30	1,10	1,05
2,5	1,35	1,30	1,10	0,95
3	1,24	0	1,05	0
3,5	1,12		0,95	
4	0		0	

Sumber : Dirjen Pengairan, Bina Program PSA on, 1985 KP-01

Perkolasi

Dalam penentuan kebutuhan air untuk tanaman selain

ditentukan oleh evapotranspirasi tanaman juga ditentukan oleh besarnya perkolasi yang terjadi pada daerah irigasi ( lahan persawahan ).

Faktor-faktor yang mempengaruhi perkolasi yaitu :

- a. tekstur tanah
- b. permeabilitas tanah
- c. tebal lapisan tanah bagian atas ( top air )
- d. letak permukaan tanah ( makin tinggi letak muka air, makin rendah perkolasi )

Perkolasi dinyatakan dalam satuan panjang persatuan waktu ( mm/hari ). Laju perkolasi sangat tergantung pada sifat-sifat tanah, pada tanah lempung berat dengan karakteristik pengolahan yang baik, maka laju perkolasi bisa mencapai 1-3 mm/hari. Bila tanah yang lebih ringan, laju perkolasi bisa lebih tinggi. dari hasil penelitian yang dilakukan oleh proyek Bengawan Solo, maka didapatkan perkolasi rata-rata 1 mm/hari.

#### Penggantian Lapisan Air

- a. Setelah pemupukan, diusahakan untuk menjadwalkan dan mengganti air menurut kebutuhan
- b. Jika tidak ada penjadwalan, maka dilakukan penggantian sebanyak 2 kali masing-masing 50 mm atau 3,3 mm/hari selama 1/2 bulan, yaitu pada satu bulan

dan dua bulan setelah transplantasi

#### Curah Hujan Efektif

Berdasarkan SPI KP-01 untuk irigasi padi, curah hujan efektif bulanan diambil 70% dari curah hujan minimum tengah bulanan dengan periode ulang 5 tahun.

$$R_e = 0,7 * 1/15 * R \text{ (setengah bulan)}_5 \quad [ 4.4 ]$$

dimana :

$R_e$  = curah hujan efektif, mm/hari

$R \text{ (setengah bulanan)}_5$  = curah hujan minimum tengah bulanan dengan periode ulang 5 tahun

Untuk perhitungan curah hujan setengah bulanan dapat dilihat pada tabel IV.10.

Tabel 2.5

Tahun	X	X-X̄
1983	348	1888
1984	79	5384
1985	152	9
1986	188	576
1987	341	11861
1988	111	588
1989	58	11338
1990	85	4761
1991	87	5888
1992	188	5818
1993	201	1800
1994	187	19
1995	88	1784
1996	341	11418
1997	180	578
1998	358	14884
1999	148	114
2000	18	3481
2001	187	1848
2002	188	5888
2003	111	588
2004	188	588
2005	48	7821
2006	187	188
2007	18	1188
2008	58	5888
Jumlah	11338	
Rata-rata	36.34	

Dari data diatas didapat dengan persamaan seperti yang diuraikan pada Bab 3

Contoh 1 = 8 tahun

$$K = (T/t_r - Y_n) / Y_n \quad T/t_r = - \ln \ln (T/(t-1)) = 1.4860$$

$$\text{Jadi,} \quad K = (T/t_r - Y_n) / Y_n = (1.4860 - 0.5888) / 1.0881 = 0.8881$$

$$H = K + k$$

$$= 181 + 0.8881 \times 47.11$$

$$= 193$$

Dari perhitungan curah hujan sehingga balanan dapat didapat pada tabel berikut ;

Tabel 10. Rata-rata Hasil Pengamatan Penelitian di Desa Suman

Desa	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agst	Sep	Oktr	Nov	Dek	Jumlah	Rata-rata
1083	240	202	150	00	100	113	109	120	00	00	00	00	00	00
1084	78	120	100	121	111	148	116	24	74	90	00	00	00	00
1085	137	153	36	80	124	81	06	00	00	00	00	00	00	00
1086	160	02	201	105	96	113	74	04	00	00	00	00	00	00
1087	243	146	128	140	103	83	14	00	00	00	00	00	00	00
1088	111	113	108	123	203	130	00	87	141	06	00	00	00	00
1089	08	290	01	184	84	165	141	112	00	00	00	00	00	00
1090	86	124	221	45	135	83	161	161	00	00	00	00	00	00
1091	67	120	100	00	98	179	42	00	00	00	00	00	00	00
1092	180	171	110	01	109	208	93	45	116	00	00	00	00	00
1093	204	120	102	89	71	193	127	110	137	122	00	00	00	00
1094	127	122	124	205	230	65	127	00	00	00	00	00	00	00
1095	02	76	151	110	141	153	02	118	20	100	00	00	00	00
1096	241	141	01	46	122	89	40	52	00	00	00	00	00	00
1097	110	841	232	128	203	27	152	47	00	00	00	00	00	00
1098	250	128	145	150	155	74	25	10	46	20	00	00	00	00
1099	140	170	123	30	124	202	211	16	72	40	00	00	00	00
1100	75	103	02	07	77	01	00	22	00	00	00	00	00	00
1101	177	157	174	103	82	105	14	01	163	00	00	00	00	00
1102	170	35	107	71	102	15	00	35	00	00	00	00	00	00
1103	115	220	200	40	45	140	177	30	40	170	00	00	00	00
1104	118	228	161	140	128	55	228	105	40	25	00	00	00	00
1105	45	105	05	70	145	00	160	70	15	00	00	00	00	00
1106	120	100	60	70	100	124	105	112	00	00	00	00	00	00
1107	100	220	105	00	20	202	20	00	00	00	00	00	00	00
1108	50	120	00	72	120	01	00	00	00	00	00	00	00	00
Jumlah	114	100	107	100	128	117	101	56	24	30	00	00	00	00
Rata-rata	643	503	612	528	582	713	690	135	402	145	00	00	00	00
Jumlah	101	211	101	176	176	193	168	60	74	05	00	00	00	00

Tabel IV.10.

CURAH HUJAN SETENGAH BULANAN DENGAN PERIODE ULANG 5 TH

Bulan	R (setengah bulan) 5 th	
	I	II
Januari	191	211
Pebruari	191	155
Maret	175	182
April	156	99
Mai	90	70
Juni	74	69
Juli	44	51
Agustus	1	21
September	28	37
Oktober	55	105
Nopember	95	108
Desember	170	128

Untuk mendapatkan curah hujan efektif tengah bulanan dengan R (setengah bulanan 5) dapat dipergunakan perumusan sebagai berikut :

$$R_e = 0,7 * 1/15 * R(\text{setengah bulanan } 5)$$

Hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel berikut :



TABEL IV.11. TENGAH BULANAN EFEKTIP (mm)

Bulan	R (setengah bulan) s th	
	I	II
Januari	8,81	9,85
Pebruari	8,91	7,23
Maret	8,17	8,49
April	7,28	4,62
Mei	4,20	3,27
Juni	3,45	3,22
Juli	0,10	2,38
Agustus	0,05	0,98
September	1,31	1,73
Oktober	2,57	4,95
Nopember	4,43	5,04
Desember	7,93	5,93

Efisiensi Irigasi

Efisiensi irigasi adalah perbandingan antara jumlah air yang dipakai dengan jumlah air yang diberikan dalam %. Secara keseluruhan efisiensi irigasi dapat ditulis dalam persamaan adalah :

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_s} * 100 \% \quad [ 4.5 ]$$

dimana :

$\eta$  = efisiensi irigasi ( % )

$Q_u$  = debit yang dipakai ( m<sup>3</sup>/dt )

$Q_s$  = debit yang dialirkan ( m<sup>3</sup>/dt )

Menurut Standart Perencanaan Irigasi ( SPI ) efisiensi untuk petak sawah sesuai dengan tingkatannya adalah sebagai berikut :

- Tersier           = 80 %
- Sekunder        = 90 %
- Primer           = 90 %

Jadi total efisiensi  $80\% \cdot 90\% \cdot 90\% = 65\%$ .

Diversion requirement adalah banyaknya air yang harus dipasokkan kepetak sawah setelah diperhitungkan efisiensi irigasinya.

$$D_r = \frac{NFR}{\eta} \quad \{ 4.5. \}$$

dimana :

- $D_r$        = Banyaknya air dibangun sadap/intake yang harus dipasokkan ( l/dt/Ha )
- $NFR$      = kebutuhan air dipetak sawah ( mm/hari )
- $\eta$        = efisiensi ( % )

#### 4.2 3.2. Kebutuhan air di sawah untuk Tanaman Tebu dan Polowijo

Berdasarkan Standart Perencanaan Irigasi KP-01, maka jumlah air yang digunakan untuk penyiapan lahan adalah sebagai berikut :

- jumlah air 50 - 100 mm dianjurkan untuk tanaman polowijo

- jumlah air 150 - 120 mm untuk tanaman tebu

Pada tanaman polowijo, besarnya ETonya sama dengan perhitungan ETo dari tanaman padi. Harga kc didasarkan pada data FAO.

Tabel IV.12.

Harga kc untuk tanaman Polowijo dengan perhitungan ETo dari FAO

Tanaman jangka tumbuh (hari)	Kedelai 35	Jagung 60	Kac tanah 130	Bawang 70	Buncis 75	Kapas 195
1/2 bulan						
1	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
2	0,75	0,59	0,51	0,51	0,64	0,50
3	1,00	0,96	0,66	0,69	0,89	0,58
4	1,00	1,05	0,85	0,90	0,95	0,75
5	0,82	1,02	0,95	0,95	0,88	0,91
6	0,45	0,95	0,95			0,91
7			0,95			1,04
8			0,55			1,05
9			0,55			1,05
10						0,78
11						0,65
12						0,65
13						0,65

Sumber : Standart Perencanaan Irigasi KP-01

Catatan: 1. Diambil dari FAO Guideline for Crop Water Requirement  
(Ref. FAO,1977 )

2. Untuk diterapkan dengan metode ETo Prosida, dikalikan harga-harga koefisien tanaman dengan 1,15.

Untuk tanaman ladang, perkolasi air kedalam tanah hanya akan terjadi setelah pemberian air irigasi, untuk daerah Bendo perkolasi rata - rata 1 mm/hari.

Curah hujan efektif untuk tanaman polowijo oleh Standart Perencanaan Irigasi KP-01 dianjurkan dihitung dengan cara USDA Soil Conservation Service .

Berdasarkan Standart Perencanaan Irigasi KP-01, angka-angka efisiensi yang realitas untuk tanaman ladang dan tebu adalah sebagai berikut:

	Awal	Peningkatan yang dapat dicapai
Jaringan irigasi utama	0,75	0,80
Petak tersier	0,65	0,75
keseluruhan	0,50	0,60

#### 4.2.3.3. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

Untuk mendapatkan kebutuhan air yang minimum, dilakukan 3 alternatif perhitungan yaitu :

- alternatif I : penanaman padi I dimulai tanggal 1 Nopember (tengah bulanan I) + padi II + polowijo.
- alternatif II : penanaman padi I dimulai tanggal 16 Nopember (tengah bulanan II)+ padi

II + polowijo.

- alternatif III : penanaman padi I dimulai tanggal 1 Desember (tengah bulanan I) +padi III + polowijo.

Pernhitungan untuk kebutuhan air di sawah untuk alternatif I, II dan III dapat dilihat pada tabel berikut.

Keterangan :

1. ETo adalah besarnya evapotranspirasi dan didapat dari tabel IV.6.
2. P (Perkolasi) = 1 mm
3. Re = curah hujan efektif didapat dari tabel IV.11.
4. kc1, kc2, kc3 = koefisien tanaman
5. kc = koefisien rata-rata
6. ETc = kc \* ETo
7. Wlr1, Wlr2, Wlr3 = pengantian lapisan air
8. Wlr = penggantian lapisan air rata-rata
9. M = 1,1 ETo + P
10. T adalah jangka waktu penyiapan
11. S adalah kebutuhan air untuk penjemuran
12. K = ( m \* T )/S
13. Ir = ( M \* e<sup>k</sup> )/e<sup>k</sup> - 1
14. NFR = PWR - Re atau NFR = ETc + P - Re + Wlr
15. DR = NFR/( $\eta$  \* 8,64) (l/dt/Ha)

Year	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099	2100	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2107	2108	2109	2110	2111	2112	2113	2114	2115	2116	2117	2118	2119	2120	2121	2122	2123	2124	2125	2126	2127	2128	2129	2130	2131	2132	2133	2134	2135	2136	2137	2138	2139	2140	2141	2142	2143	2144	2145	2146	2147	2148	2149	2150	2151	2152	2153	2154	2155	2156	2157	2158	2159	2160	2161	2162	2163	2164	2165	2166	2167	2168	2169	2170	2171	2172	2173	2174	2175	2176	2177	2178	2179	2180	2181	2182	2183	2184	2185	2186	2187	2188	2189	2190	2191	2192	2193	2194	2195	2196	2197	2198	2199	2200	2201	2202	2203	2204	2205	2206	2207	2208	2209	2210	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	2222	2223	2224	2225	2226	2227	2228	2229	2230	2231	2232	2233	2234	2235	2236	2237	2238	2239	2240	2241	2242	2243	2244	2245	2246	2247	2248	2249	2250	2251	2252	2253	2254	2255	2256	2257	2258	2259	2260	2261	2262	2263	2264	2265	2266	2267	2268	2269	2270	2271	2272	2273	2274	2275	2276	2277	2278	2279	2280	2281	2282	2283	2284	2285	2286	2287	2288	2289	2290	2291	2292	2293	2294	2295	2296	2297	2298	2299	2300	2301	2302	2303	2304	2305	2306	2307	2308	2309	2310	2311	2312	2313	2314	2315	2316	2317	2318	2319	2320	2321	2322	2323	2324	2325	2326	2327	2328	2329	2330	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340	2341	2342	2343	2344	2345	2346	2347	2348	2349	2350	2351	2352	2353	2354	2355	2356	2357	2358	2359	2360	2361	2362	2363	2364	2365	2366	2367	2368	2369	2370	2371	2372	2373	2374	2375	2376	2377	2378	2379	2380	2381	2382	2383	2384	2385	2386	2387	2388	2389	2390	2391	2392	2393	2394	2395	2396	2397	2398	2399	2400	2401	2402	2403	2404	2405	2406	2407	2408	2409	2410	2411	2412	2413	2414	2415	2416	2417	2418	2419	2420	2421	2422	2423	2424	2425	2426	2427	2428	2429	2430	2431	2432	2433	2434	2435	2436	2437	2438	2439	2440	2441	2442	2443	2444	2445	2446	2447	2448	2449	2450	2451	2452	2453	2454	2455	2456	2457	2458	2459	2460	2461	2462	2463	2464	2465	2466	2467	2468	2469	2470	2471	2472	2473	2474	2475	2476	2477	2478	2479	2480	2481	2482	2483	2484	2485	2486	2487	2488	2489	2490	2491	2492	2493	2494	2495	2496	2497	2498	2499	2500	2501	2502	2503	2504	2505	2506	2507	2508	2509	2510	2511	2512	2513	2514	2515	2516	2517	2518	2519	2520	2521	2522	2523	2524	2525	2526	2527	2528	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573	2574	2575	2576	2577	2578	2579	2580	2581	2582	2583	2584	2585	2586	2587	2588	2589	2590	2591	2592	2593	2594	2595	2596	2597	2598	2599	2600	2601	2602	2603	2604	2605	2606	2607	2608	2609	2610	2611	2612	2613	2614	2615	2616	2617	2618	2619	2620	2621	2622	2623	2624	2625	2626	2627	2628	2629	2630	2631	2632	2633	2634	2635	2636	2637	2638	2639	2640	2641	2642	2643	2644	2645	2646	2647	2648	2649	2650	2651	2652	2653	2654	2655	2656	2657	2658	2659	2660	2661	2662	2663	2664	2665	2666	2667	2668	2669	2670	2671	2672	2673	2674	2675	2676	2677	2678	2679	2680	2681	2682	2683	2684	2685	2686	2687	2688	2689	2690	2691	2692	2693	2694	2695	2696	2697	2698	2699	2700	2701	2702	2703	2704	2705	2706	2707	2708	2709	2710	2711	2712	2713	2714	2715	2716	2717	2718	2719	2720	2721	2722	2723	2724	2725	2726	2727	2728	2729	2730	2731	2732	2733	2734	2735	2736	2737	2738	2739	2740	2741	2742	2743	2744	2745	2746	2747	2748	2749	2750	2751	2752	2753	2754	2755	2756	2757	2758	2759	2760	2761	2762	2763	2764	2765	2766	2767	2768	2769	2770	2771	2772	2773	2774	2775	2776	2777	2778	2779	2780	2781	2782	2783	2784	2785	2786	2787	2788	2789	2790	2791	2792	2793	2794	2795	2796	2797	2798	2799	2800	2801	2802	2803	2804	2805	2806	2807	2808	2809	2810	2811	2812	2813	2814	2815	2816	2817	2818	2819	2820	2821	2822	2823	2824	2825	2826	2827	2828	2829	2830	2831	2832	2833	2834	2835	2836	2837	2838	2839	2840	2841	2842	2843	2844	2845	2846	2847	2848	2849	2850	2851	2852	2853	2854	2855	2856	2857	2858	2859	2860	2861	2862	2863	2864	2865	2866	2867	2868	2869	2870	2871	2872	2873	2874	2875	2876	2877	2878	2879	2880	2881	2882	2883	2884	2885	2886	2887	2888	2889	2890	2891	2892	2893	2894	2895	2896	2897	2898	2899	2900	2901	2902	2903	2904	2905	2906	2907	2908	2909	2910	2911	2912	2913	2914	2915	2916	2917	2918	2919	2920	2921	2922	2923	2924	2925	2926	2927	2928	2929	2930	2931	2932	2933	2934	2935	2936	2937	2938	2939	2940	2941	2942	2943	2944	2945	2946	2947	2948	2949	2950	2951	2952	2953	2954	2955	2956	2957	2958	2959	2960	2961	2962	2963	2964	2965	2966	2967	2968	2969	2970	2971	2972	2973	2974	2975	2976	2977	2978	2979	2980	2981	2982	2983	2984	2985	2986	2987	2988	2989	2990	2991	2992	2993	2994	2995	2996	2997	2998	2999	3000
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

[illegible]

## BENDUNGAN BENDO DI KABUPATEN PONOROGO, JAWA TIMUR

**Final P. 15**

2022年11月11日 星期五

[illegible]



Tabel M.13.

Hasil Pemfuran Kebungaran di daerah (1/20-Ha)

Ruler	Alternatif I		Alternatif II		Alternatif III	
	terasa	total	terasa	total	terasa	total
Mar	1.57		1.00		0.00	
	1.57	1.24	1.57	1.57	0.00	0.00
Des	1.22		0.02		1.02	
	1.22	1.22	0.38	0.40	1.38	1.40
Jan	1.12		1.00		0.00	
	1.12	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Feb	1.11		0.00		1.00	
	1.11	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
Mar	1.12		0.00		1.00	
	1.12	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00
Apr	1.11		1.10		0.00	
	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Mei	1.18		0.38		0.38	
	0.38	0.53	0.38	1.01	0.38	1.01
Jun	0.48		0.29		0.29	
	0.13	0.59	0.50	0.79	0.33	0.62
Jul	0.25		0.34		0.78	
	0.00	0.25	0.20	0.64	0.33	1.09
Ago	0.00		0.00		0.52	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
Sep	0.00		0.00		0.22	
	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Okt	0.00		0.00		0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabel 12.17.  
Kebutuhan Air Irigasi dengan Pola Tanam  
Padi I – Padi I – Padi II

Bulan	Kebutuhan Air Irigasi	
	mm/dt/Ha	m <sup>3</sup> /dt
Jan	0	0.00
Feb	0	0.00
Mar	0	0.00
Apr	0, 67	2.38
Mai	0, 63	1.90
Juni	0, 58	2.01
Juli	0, 28	0.55
Agst	0	0.00
Sept	0	0.00
Oktr	0	0.00
Nov	1, 24	4.22
Des	0, 02	0.16

#### 4.3. PEMANFAATAN AIR UNTUK TENAGA LISTRIK

##### 4.3.1. Penentuan kapasitas dan luas genangan

Dalam pemilihan alternatif waduk harus pengaruh luas daerah yang akan tergenang, sebab potensi dari daerah yang terkena genangan tidak akan dapat dimanfaatkan dengan maksimal. Selain memperhatikan daerah yang kurang potensial bagi masyarakat setempat.

Dari peta topografi yang ada dapat ditentukan rencana daerah yang akan tergenang akibat dibangunnya suatu bendungan. Besarnya daerah yang tergenang dapat ditentukan dengan perhitungan mengenai luas permukaan bidang masing-masing elevasi sampai diperoleh elevasi yang cukup menguntungkan dari segi kapasitas maupun potensi daerah genangan. Berdasarkan perhitungan luas permukaan bidang masing-masing elevasi tersebut, maka dapat dibuat gambar lengkung kapasitas penyimpanan air pada waduk untuk mengetahui volume tampungan pada tiap elevasi. Untuk mengetahui gambaran yang jelas mengenai perhitungan volume tampungan waduk dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{(F_i + F_{(i+1)})}{2} \cdot (h_{(i+1)} - h_i)$$

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{(F_i + F_{(i+1)})}{2} \cdot \Delta h$$

dimana :

$V$  = volume tampungan ( $m^3$ )

$F_i$  = luas permukaan pada elevasi  $i$  ( $km^2$ )

$F_{i+1}$  = luas permukaan pada elevasi  $i+1$  ( $km^2$ )

$\Delta h$  = beda tinggi antara elevasi  $F_i$  dengan  $F_{i+1}$

Untuk memudahkan perhitungan maka dibuat tabel yang menyatakan hubungan antara elevasi permukaan dari suatu medan dengan luas daerah yang dibatasi oleh ketinggian tertentu (lihat tabel IV.8).

Dari hasil analisa luas permukaan untuk setiap perubahan ketinggian masing-masing elevasi, maka dapat diketahui volume yang terkait dengan masing-masing elevasi tersebut. Sebagai gambaran mengenai volume air yang akan tertampung pada rencana bendungan Bendo, dibuat grafik lengkung kapasitas seperti grafik 4.3.

#### 4.3.2. Penentuan Kapasitas Tampungan Waduk Bendo

Penentuan kapasitas tampungan waduk dapat diperoleh dengan menggunakan hubungan antara inflow dan outflow sebagai berikut :

$$\frac{ds}{dt} = I - O - E$$

dimana :

$s$  = tampungan waduk ( $m^3$ )

$I$  = inflow ( $m^3/dt$ )

O = outflow ( $m^3/dt$ )

E = evaporasi (mm/bl)

Sebagai inflow dipergunakan debit rata-rata bulanan pada tahun terkering, sedangkan untuk outflow debit yang dipergunakan merupakan jumlah kebutuhan air irigasi maksimum (lihat tabel IV.19) dan evaporasi. Karena debit ini sebelum dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi, maka air tersebut dipakai dulu untuk menjalankan PLTA dengan debit dasarnya sebesar  $1,3 m^3/dt$  dan dioperasikan selama 5 jam, sehingga besarnya kapasitas inflow dan outflow untuk bendungan Bendo ini dapat dilihat pada tabel IV.19.

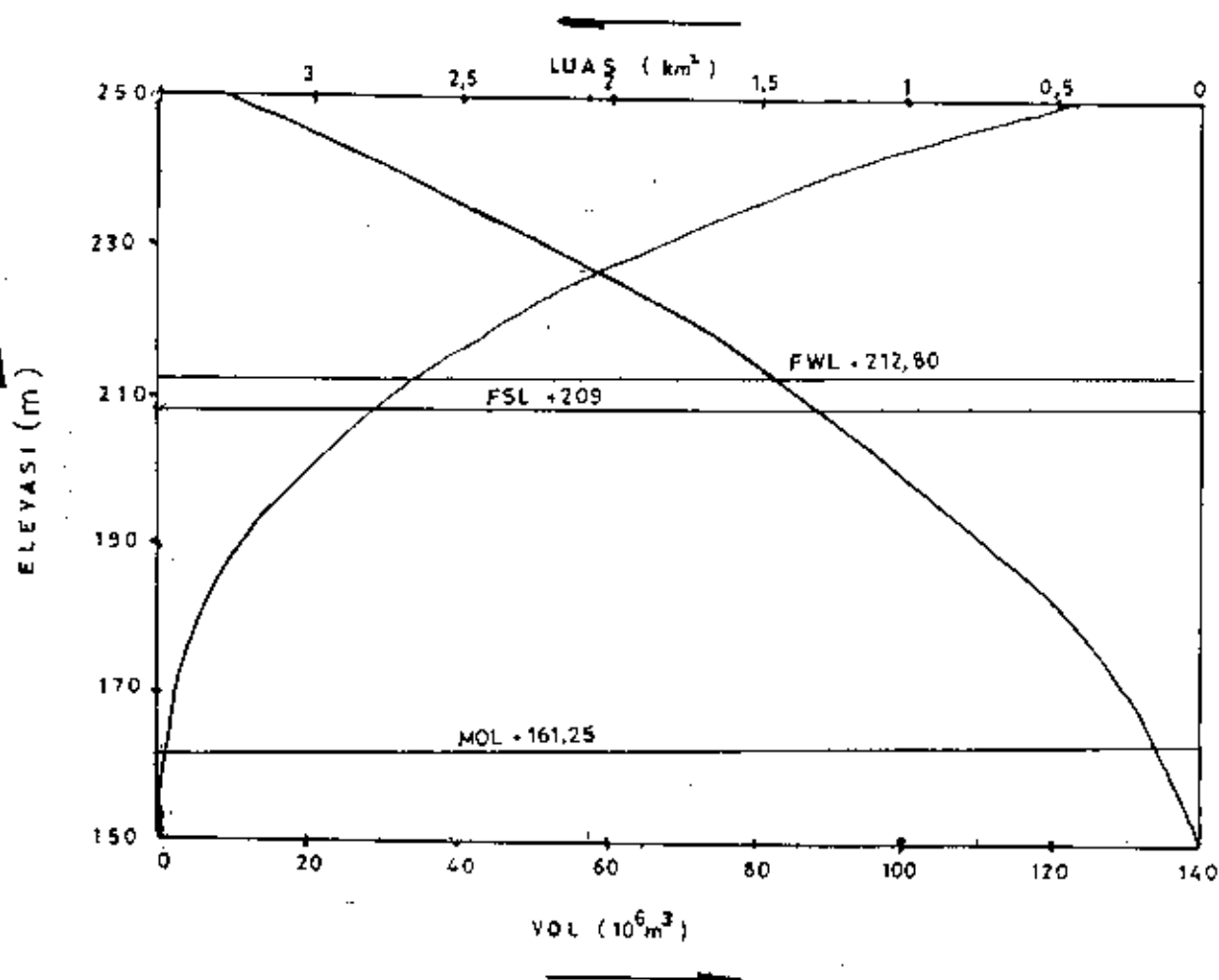
Jadi debit kontinyu yang dilewatkan pada jam operasi selama 5 jam yaitu :  $\frac{24}{5} \times 1,3 = 6,24 m^3/dt$ .

Dari perhitungan pada tabel IV.19, didapatkan volume komulatif dari inflow selama satu tahun sebesar  $72,21 m^3$  dan besarnya outflow komulatif dari evaporasi, irigasi serta PLTA sebesar  $56,034 m^3$ , sehingga masih sisa kelebihan air sebesar  $16,176 m^3$ . Dengan demikian besarnya kelebihan air tersebut dapat dipergunakan untuk pengembangan daerah irigasi pada masa yang akan datang atau untuk menambah daya PLTA.

Tabel IV.12. Hubungan antara elevasi, luas dan volume gerangan.

Elevasi	F <sub>1</sub> (km <sup>2</sup> )	h <sub>i+1</sub> - h <sub>i</sub> (m)	Frata2 (km <sup>2</sup> )	Volume ( 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Volume kumulatif ( 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
150	0		0.000	0.100	0.100
155	0.06	5	0.162	0.425	0.525
161	0.11	6	0.123	0.625	1.200
165	0.1	4	1.155	0.375	2.175
170	0.12	5	1.250	1.450	3.625
175	0.03	5	0.355	1.325	3.550
180	0.44	5	0.200	2.500	3.050
185	0.36	5	0.440	3.200	11.250
191	1.72	6	1.730	3.450	15.200
195	1.35	4	1.345	4.715	19.325
200	1.02	5	1.700	5.500	25.425
213	1.17	13	1.255	6.325	31.750
215	1.36	2	1.460	7.300	39.050
218	1.56	3	1.470	8.350	47.400
220	1.73	2	1.840	9.300	56.700
225	1.94	5	2.125	10.625	67.325
230	2.31	5	2.380	11.500	78.225
235	2.45	5	2.630	13.150	92.375
240	2.81	5	2.850	14.450	106.825
245	2.97	5	3.165	15.825	122.650
250	3.26				

GRAFIK 4.3



Tabulė II. 17. Partijų ir kandidatų skaičius.

Indian	Inflow		Savings		Expenditure		Balance		J - P [100 %]
	₹ Lakhs	₹ Crores	₹ Lakhs	₹ Crores	₹ Lakhs	₹ Crores	₹ Lakhs	₹ Crores	
January	10.71	28.69	38.62	0.193	0.000	0.000	1.308	3.400	25.113
February	7.84	19.97	47.65	0.237	0.000	0.000	1.300	6.620	40.002
March	1.72	3.56	52.62	0.391	0.000	0.000	1.300	10.400	42.125
April	2.05	5.31	62.03	0.167	0.000	0.000	1.300	17.000	46.374
May	0.87	2.20	65.73	0.145	0.000	0.000	1.300	16.850	43.606
June	0.92	0.80	65.96	0.169	0.000	0.000	1.300	20.320	39.868
July	0.27	0.72	66.60	0.164	0.000	0.000	1.300	3.400	36.146
August	0.24	0.64	67.32	0.393	0.000	0.000	1.300	3.400	33.206
September	0.23	0.60	67.97	0.195	0.000	0.000	1.300	30.600	33.137
October	0.23	0.67	68.53	0.173	0.000	0.000	1.300	34.430	22.300
November	0.23	0.60	69.13	0.103	0.000	0.000	1.300	3.400	16.651
December	3.16	3.11	73.24	0.107	0.000	0.000	1.300	17.800	16.276

Fig. 2

מחלקת המחקר והפיתוח, משרד החקלאות, המים והיער, תל אביב-יפו

**ICR1 [2] ist am besten geeignet = F. Adloff**

מחזור 5 = חכונ:מחזור 5 = מחזור 5

א.ע.י.מ. & ח.ת.ת.מ. = התחלואה

$$\text{orthogonal complement of } \pi_2 \cap \pi_1 \pi_2 = \{ \pi_1 \pi_2 \}$$

**Kullow B = Suburban Urban**

የጥቅምት ፳፯ ቀን ፳፻፲፭ ዓ.ም. ስርዓተ ጥበቃ ስራ ላይ ሚኒስትር ሆኑት ለጥቅምት ፳፯ ቀን ፳፻፲፭ ዓ.ም. ስርዓተ ጥበቃ ስራ ላይ ሚኒስትር ሆኑት

מסלול תואר ראשון – מדעי המחשב

ԱՄԵՐԻԿԱՆԱՅԻՆ ԵՄ ԲԵՐՈՒՄ

המחיר הנמוך ביותר של 100 שקלים נקבע על ידי המסחרים, ונשען על מחירי המניות של חברות הנדל"ן.

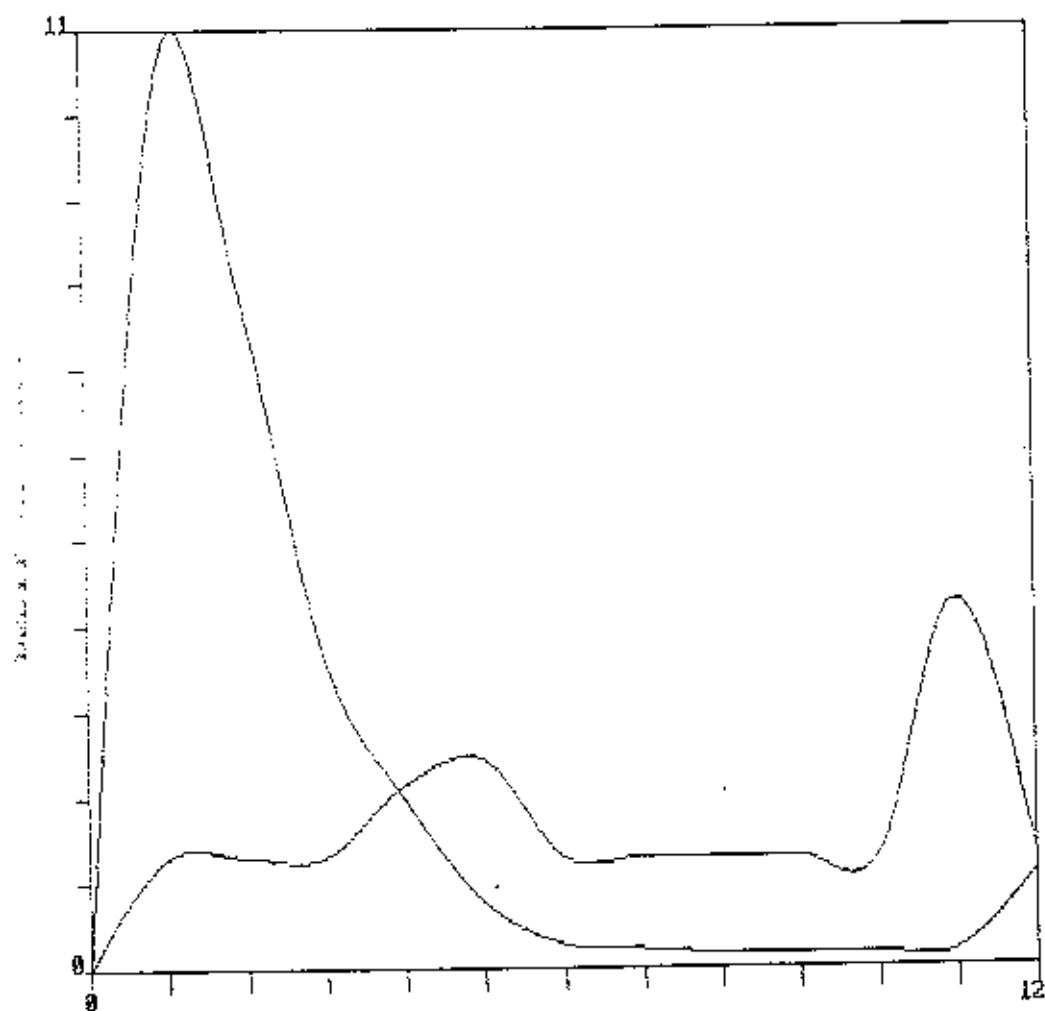
U11101 45011010033 4.727100002 20000706 2 36 0001153

1127110770123, 010011205 : ET 00117023



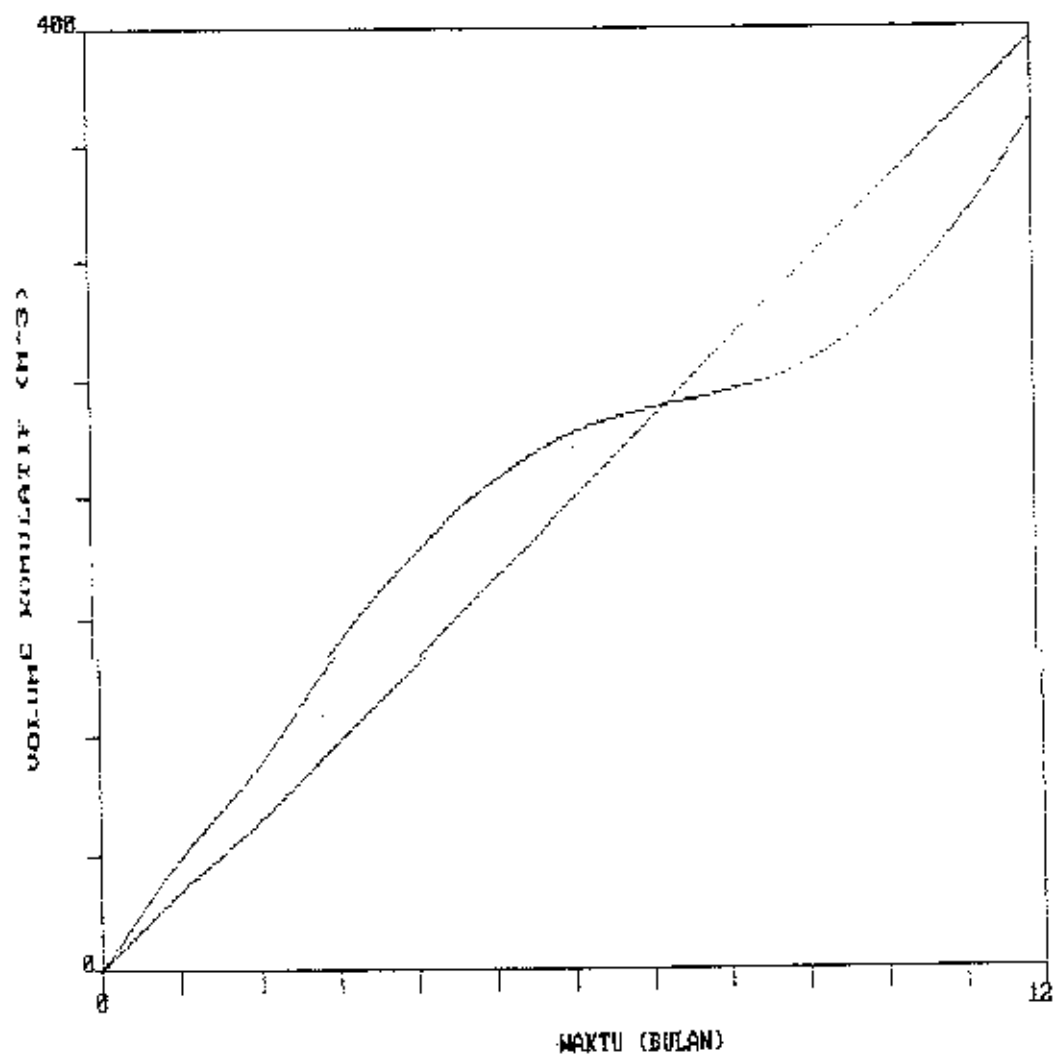
GRAFIK 4.4.

GRAFIK HUBUNGAN INFLOW DAN OUTFLOW



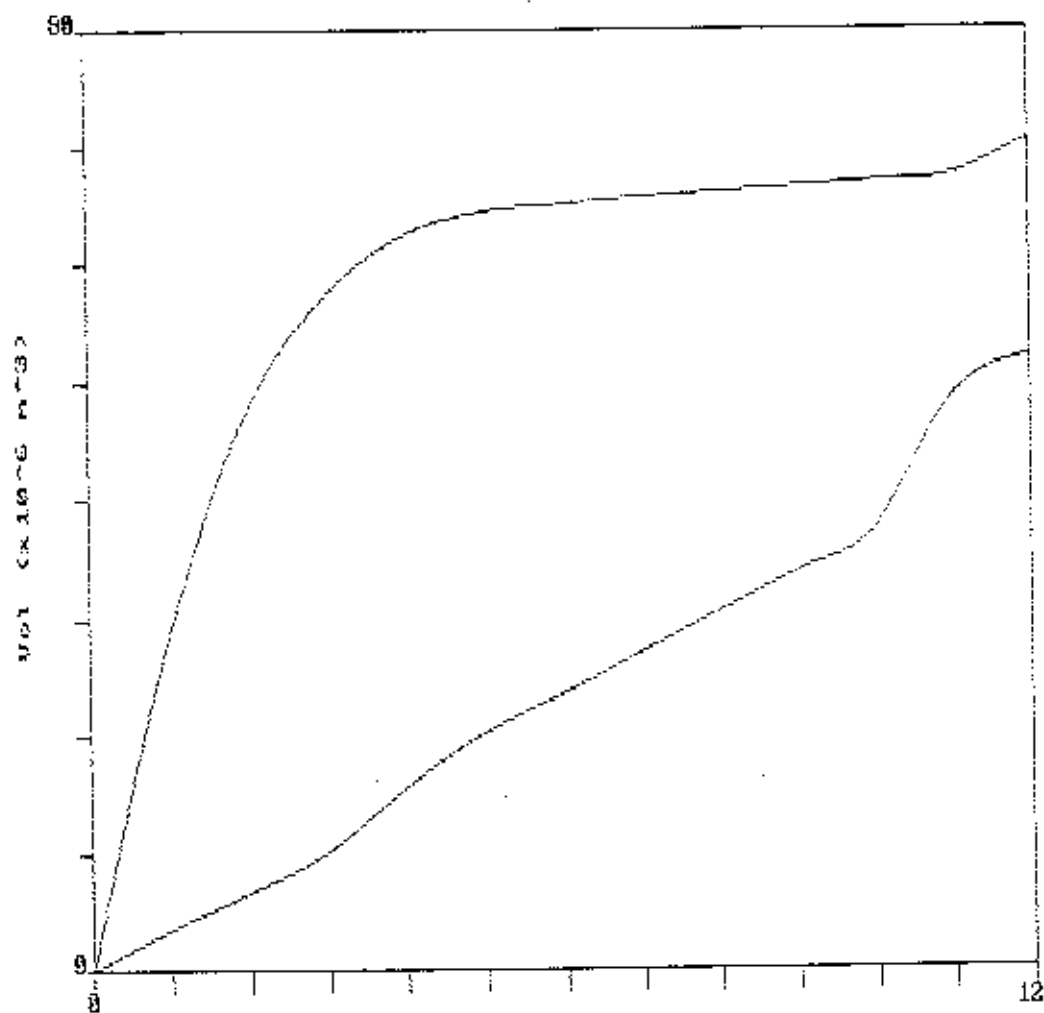
GRAFIK 4.5.

GRAFIK HUBUNGAN INFLOW-OUTFLOW KUMULATIF



GRAFIK 4.5.

GRAFIK HUBUNGAN INFLOW-OUTFLOW KUMULATIF



#### 4.4. PENENTUAN KAPASITAS PEMBANGKITAN

##### 4.4.1. Intake

Dalam perenanaan bendungan Bendo, intake yang dipakai untuk memasukkan air yang kemudian disalurkan ke waterway dipilih bentuk pipa tekan. Untuk elevasi ambang intake ditetapkan pada elevasi sedimen (60 tahun) ditambah tinggi jagaan untuk keamanan sebesar 1 m, yaitu  $+155 + 1 = +156$  m, sedangkan penentuan diameter lubang intake dihitung dengan mengambil kecepatan di intake sebesar 2 m/dt, maka :

$$\frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{Q_{PT}}{V}$$

$$\frac{1}{4} \pi D^2 = 6.24/2$$

$$D = 1.99 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

##### 4.4.2. Menentukan Diameter Head Race Tunnel

Dalam menentukan diameter head race tunnel dipakai rumus dari HPPS (Hydro Power Potensial Study) Jepang yaitu :

$$D_{TR} = 1.05 \cdot Q_{PT}^{0.372} \quad [ 4.7 ]$$

dimana :

$D_{TR}$  = diameter dalam head race tunnel (m)

$Q_{PT}$  = debit maksimum pada tunnel ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

Debit yang dipakai untuk PLTA Bendo sebesar  $6.24 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

$$D_{TR} = 1.05 \cdot 6.24^{0.372} = 2.07 \text{ m}$$

Jadi diambil diameter head race tunnel sebesar 2,10 m, kemudian dihitung kecepatan air yang melewati head race tunnel dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{PT} = V \cdot A$$

dimana :

$Q_{PT}$  = debit yang melewati pada Tunneel ( $m^3/dt$ )

$V$  = kecepatan air ( $m/dt$ )

$A$  = luas basah penampang tunnel ( $m^2$ )

didapatkan :

$$V = Q_{PT}/A$$

$$= \frac{6,24}{1/4 \cdot \pi \cdot 2,1^2} = 1,8 \text{ m/dt.}$$

Agar tidak terjadi isapan udara ke dalam intake maka intake harus berada di bawah muka air terendah atau minimum operation level (MOL).

$$MOL = H_a + 2,5 \cdot DIA$$

dimana :

$MOL$  = muka air terendah (m)

$H_a$  = elevasi endapan pada akhir umur PLTA

$DIA$  = diameter waterway pada intake

Sehingga :

$$MOL = + 156 + 2,5 \cdot 2,1$$

$$= + 161,25 \text{ m}$$

Elevasi MOL yang didapat diplotkan pada lengkung

kapasitas waduk sehingga didapatkan volume dead storage sebesar  $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

#### 4.4.3. Menentukan Muka Air Operasi Tertinggi (FSL)

Untuk menentukan elevasi muka air tertinggi adalah sebagai berikut :

- volume pada elevasi dead stroge	= $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- volume efektif stroge	= $30,44 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Total volume kotor	= $32,44 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

catatan : vol efektif storage didapat dari tabel IV.19

Kemudian diplotkan pada lengkung kapasitas untuk volume kotor atau gross storage sebesar  $32,44 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , maka didapatkan elevasi = 209, dimana elevasi tersebut akan ditempatkan spillway.

#### 4.4.4. Menentukan Diameter Penstock

Diameter penstock dihitung berdasarkan rumus dari HPPS yaitu :

$$D = 0,794 \cdot Q_p^{4,404}$$

dimana :

D = diameter penstock (m)

$Q_p$  = debit yang lewat penstock ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

Sehingga untuk bendungan Bendo didapatkan :

$$D = 0,794 \cdot 6,24^{4,404} = 1,66 \text{ m} \approx 1,7 \text{ m}$$

kapasitas waduk sehingga didapatkan volume dead storage sebesar  $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

#### 4.4.3. Menentukan Muka Air Operasi Tertinggi (FSL)

Untuk menentukan elevasi muka air tertinggi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 - \text{volume pada elevasi dead stroge} &= 1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \\
 - \text{volume efektif stroge} &= 30,94 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \\
 \hline
 \text{Total volume kotor} &= 32,94 \cdot 10^6 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

catatan : vol efektif storage didapat dari tabel IV.19  
Kemudian diplotkan pada lengkung kapasitas untuk volume kotor atau gross storage sebesar  $32,94 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , maka didapatkan elevasi + 209, dimana elevasi tersebut akan ditempatkan spillway.

#### 4.4.4. Menentukan Diameter Penstock

Diameter penstock dihitung berdasarkan rumus dari HPPS yaitu :

$$D = 0,794 \cdot Qp^{4,404}$$

dimana :

D = diameter penstock (m)

Qp = debit yang lewat penstock ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

Sehingga untuk bendungan Bendo didapatkan :

$$D = 0,794 \cdot 6,24^{4,404} = 1,66 \text{ m} \approx 1,7 \text{ m}$$

Kecepatan air pada pipa dihitung dengan perumusan :

$$V = Q_p / A$$

dimana :

V = kecepatan air yang lewat penstock (m/dt)

Q<sub>p</sub> = debit yang lewat penstock (m<sup>3</sup>/dt)

A = luas penampang basah (m<sup>2</sup>)

Sehingga :

$$V = 6,24 / (1/4 \cdot \pi \cdot 1,7^2)$$

$$= 2,75 \text{ m/dt}$$

#### 4.4.5. Surge Tank

Surge tank merupakan alat untuk memperkecil perubahan tekanan air mendadak yang timbul karena penutupan dan pembukaan tiba-tiba, sehingga dapat :

1. Mengurangi pengaruh tekanan air dalam penstock
2. Meredam tekanan air yang tidak ditransfer ke head race tunnel.
3. mengatur perubahan rata-rata debit.

Pemilihan surge tank ini tergantung pada kedalaman, kondisi topografi, geologi dan rencana pengoperasian dari power house dan bahan yang dipakai dapat berupa beton maupun baja. Untuk bendungan Bendo ini surge tank diletakkan di bagian down stream, dengan surge tank tipe port dengan bahan dari beton.



Penentuan dimensi/ukuran dari surge tank dihitung dengan cara sebagai berikut :

1. Dengan perumusan dari Water Power Engineering, oleh M.M. Dandekar dan K.M. Sharma, yaitu :

$$A_{smin} \geq \frac{V_o^2 \cdot L \cdot A_r}{2g \cdot h_{fo} (H - h_{fo})}$$

dimana :

$A_s$  = luas penampang surge tank ( $m^2$ )

$L$  = panjang head race tunnel = 200 m

$A_r$  = luas penampang haed race tunnel  
 $= 1/4 \cdot \pi \cdot D^2 = 1/4 \cdot \pi \cdot 2,1^2 = 3,46 \text{ m}^2$

$H$  = tinggi jatuh kotor = 35,125 m

$V_o$  = kecepatan pada head race tunnel = 1,8 m/dt

$h_{fo}$  = kehilangan tingi permukaan dari permukaan sampai surge tank (m).

2. Diameter surge tank

$$A_s = \frac{1,8^2}{2 \cdot 9,8} \times \frac{200 \cdot 3,46}{0,19 (35,125 - 0,19)}$$

$$1/4 \cdot \pi \cdot D^2 = 17,23$$

$$D = 5,0 \text{ m}$$

Untuk menentukan kenaikan muka air akibat water hammer digunakan perumusan sebagai berikut :

$$Z_{mak} = V_o \sqrt{\frac{(L \times A_r)}{g \cdot A_s}}$$

dimana ;

$Z_{mak}$  = kenaikan muka air pada surge tank (m)

$V_o$  = keepatan air pada head race tunnel = 1,8 m/dt

$L$  = panjang head race tunnel = 200 m

$A_r$  = luas penampang head race tunnel =  $3,46 \text{ m}^2$

$A_s$  = luas penampang surge tank =  $1/4 \cdot \pi \cdot 5^2 = 19,63 \text{ m}^2$

Jadi kenaikan muka air pada surge tank adalah :

$$\begin{aligned} Z_{\text{mak}} &= 3 \times \sqrt{(200 \times 3,46) / (9,8 \times 19,63)} \\ &= 4,59 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk menentukan kenaikan dan penurunan muka air pada surge juga perlu diperhatikan harga friksi dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_o &= \frac{h_{f_o}}{Z_{\text{mak}}} \\ &= \frac{0,19}{4,59} = 0,041 \end{aligned}$$

Kenaikan muka air ( $Z_{\text{up}}$ ) =  $Z_{\text{mak}} (1 - 2/3 \cdot P_o + 1/9 \cdot P_o^2)$

$$\begin{aligned} Z_{\text{up}} &= 4,59 (1 - 2/3 \times 0,041 + 1/9 \times 0,041^2) \\ &= 4,46 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan muka air ( $Z_{\text{down}}$ ) =  $Z_{\text{mak}} (-1 + 2 \cdot P_o)$

$$Z_{\text{down}} = 4,59 (-1 + 2 \times 0,041) = - 4,21 \text{ m}$$

Kenaikan elevasi muka air =  $+ 209 + 4,462 = + 213,46$

Penurunan elevasi muka air =  $+ 209 - 4,21 = + 204,79$

#### 4.4.6. Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif adalah tinggi tekanan yang menghasilkan energi setelah dikurangi dengan kehilangan energi akibat gesekan, kehilangan dipemasukan dan kehilangan tinggi tekanan di corong pembuang. Sedangkan

tinggi tekanan kotor (gross head) untuk PLTA adalah perbedaan elevasi keseluruhan antara permukaan air dengan tail water level (TWL).

Sehingga tinggi tekanan kotor (gross head) untuk bendungan Bendo adalah elevasi FSL (Full Supply Level) dikurangi dengan elevasi dasar sungai.

$$\begin{aligned} H_g &= (FSL + MOL) / 2 - \text{elevasi dasar sungai} \\ &= (+ 209 + 151,25) / 2 - 150 \\ &= + 35,125 \text{ m} \end{aligned}$$

#### Menghitung Head Losses :

##### B. Kehilangan tinggi dari intake sampai surge tank.

###### 1. Kehilangan pada trashrack

$$h_t = f_t \times \frac{V_1^2}{2 \times g}$$

dimana :

$f_t$  = koefisien kehilangan menurut "Kirchmer formula".

$$= \phi \cdot (s/b)^{4/3} \sin \beta$$

$\phi$  = 1,97 untuk bentuk penampang bulat

$\beta$  = sudut kemiringan trash rack =  $60^\circ$

$b$  = jarak antara batang = 7,5 cm

$s$  = tebal batang = 1,2 cm

$V_1$  = kecepatan air dimuka trashrack = 2 m/dt

Perhitungan :

$$f_1 = 1,97 \times (1,2/7,5)^{4/3} \times \sin \beta$$

$$= 0,149$$

$$H_1 = 0,149 \times 2^2 / (2 \times 9,8)$$

$$= 0,03 \text{ m}$$

2. Kehilangan tinggi pada pemasukan (intake)

$$H_2 = f_2 \times \frac{V_2^2}{2 \times g}$$

dimana :

$f_2$  = koefisien tergantung pada bentuk pemasukan

= 0,10 untuk bentuk lingkaran

$$H_2 = 0,10 \times \frac{2^2}{2 \times 9,8} = 0,02 \text{ m}$$

3. Kehilangan tinggi akibat transisi

$$H_3 = f_3 \times \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 \times g}$$

dimana :

$f_3$  = koefisien reduksi smooth aliran = 0,08

$V_1$  = kecepatan aliran sebelum perubahan penampang = 2 m/dt

$V_2$  = kecepatan aliran sesudah perubahan penampang = 1,8 m/dt

Perhitungan :

$$H_3 = 0,08 \times (2^2 - 1,8^2) / (2 \times 9,8)$$

$$= 0,031 \text{ m}$$

## 4. Kehilangan tinggi pada pemasukan head race

$$H_4 = f_4 \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

dimana :

$f_4$  = koefisien yang tergantung pada bentuk pemasukan

= 0,10 untuk bentuk lingkaran

$V$  = kecepatan rata-rata dalam head race tunnel

Perhitungan :

$$\begin{aligned} H_4 &= 0,10 \times 1,8^2 / (2 \times 9,8) \\ &= 0,0165 \text{ m} \end{aligned}$$

## 5. Kehilangan tinggi akibat gesekan dalam pipa

$$H_5 = f_5 \times L/D \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

dimana :

$f_5$  = koefisien gesekan =  $\frac{124,5 \times n^2}{D^{1/3}}$

$n$  = angka kekasaran baja = 0,11 (manning)

$D$  = diameter pipa = 2,1 m

$V$  = kecepatan pada head race = 1,8 m/dt

$L$  = panjang saluran = 200 m

Perhitungan :

$$f_5 = \frac{124,5 \times (0,011)^2}{(2,1)^{1/3}} = 0,0118$$

D = diameter pipa pesat = 1,70 m

V = kecepatan pada pipa pesat = 2,75 m/dt

n = 0.011 (pipa pesat)

Perhitungan :

$$f_2 = \frac{124,5 \times 0,011^2}{1,7^{1/3}} = 0,0126$$

$$\begin{aligned} H_2 &= 0,0126 \times \frac{140}{1,7} \times \frac{2,75^2}{2 \times 9,8} \\ &= 0,40 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi total kehilangan energi dari surge tank sampai outlet yaitu :

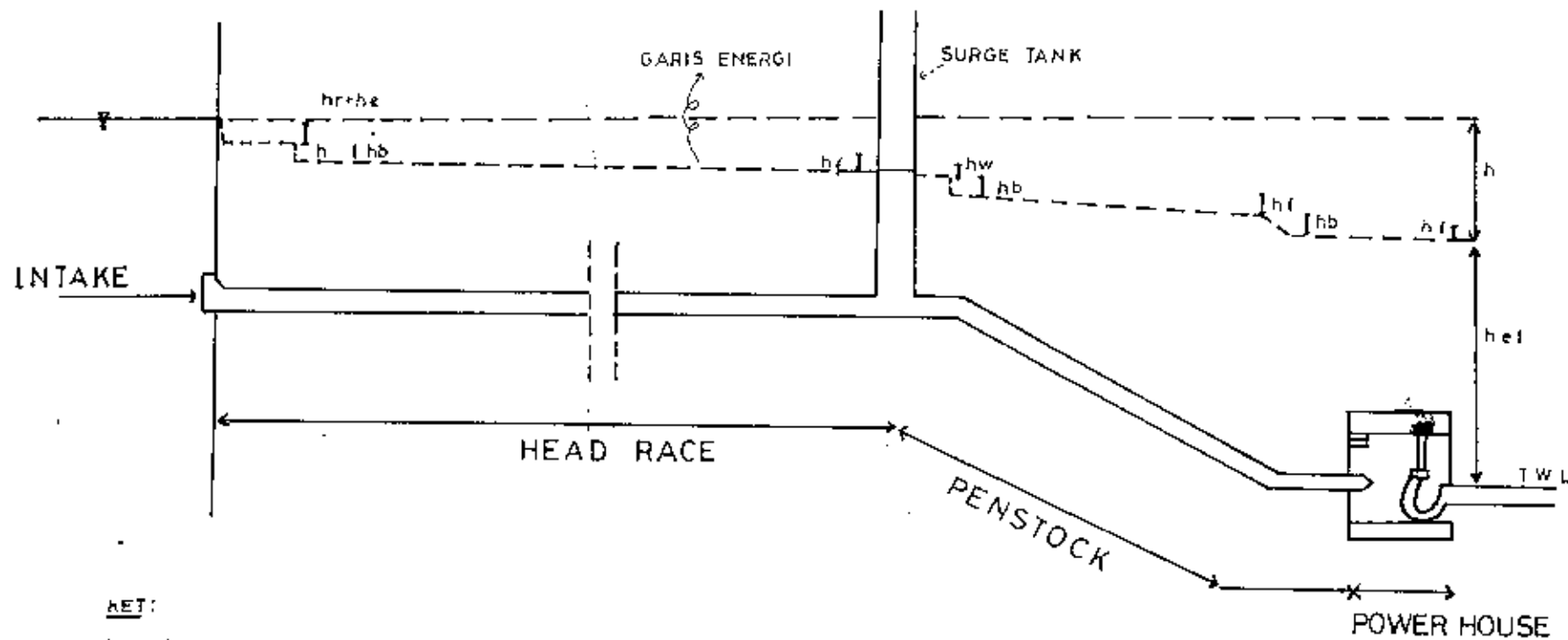
$$\begin{aligned} H_{f1} &= H_1 + H_2 \\ &= 0,039 + 0,40 = 0,439 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya kehilangan energi total pada waterway  $H_f$  adalah :

$$\begin{aligned} H_f &= H_{f0} + H_{f1} + 10 \% (H_{f0} + H_{f1}) \\ &= 0,255 + 0,439 + 10 \% (0,255 + 0,439) \\ &= 0,7628 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga tinggi jatuh efektif } (H_n) &= \text{NWL} - \text{TWL} - H_f \\ &= \frac{\text{FSL} + \text{MOL}}{2} - 145 - 0,7628 \\ &= 39,36 \text{ m} \end{aligned}$$

# SKET : KEHILANGAN TINGGI ENERGI



KEY:

- $h_r$  : Kehilangan energi dari TRASHRACK
- $h_e$  : ————— ENTRANCE
- $h_b$  : ————— BELOKAN
- $h_f$  : ————— GESEKAN
- $h_w$  : ————— PERCABANGAN

#### 4.5. PERHITUNGAN ENERGI

Daya yang akan dihasilkan oleh suatu pembangkit listrik tenaga air, dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = \eta \times 9,8 \times Q \times H_n \quad [4.8.]$$

dimana :

P = daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik (kw)

$\eta$  = efisiensi generator dan turbin (0.86)

Q = debit yang tersedia ( $m^3/dt$ )

$H_n$  = tinggi jatuh efektif (m)

Untuk PLTA Bendo, telah dihitung dimuka mengenai perhitungan antara lain :

- Debit pembangkit (Q) = 6,24  $m^3/dt$
- Tinggi jatuh efektif ( $H_n$ ) = 39,35 m
- efisiensi ( $\eta$ ) = 0.86

Perhitungan :

$$\begin{aligned} P &= 0,86 \times 9,8 \times 6,24 \times 39,36 \\ &= 2069,97 \text{ Kw} \\ &= 2,069 \text{ Mw} \end{aligned}$$

Total energi yang dihasilkan dalam setahun :

$$\begin{aligned} E &= P \times t \\ t &= 365 \times 5 \text{ jam} \\ &= 1825 \text{ jam} \\ E &= 1813 \times 2069,97 \\ &= 3777695,25 \text{ KWH} = 3,778 \text{ GWH} \end{aligned}$$



#### 4.6. MENENTUKAN JENIS TURBIN

Turbin yang dipakai dalam PLTA dengan menggunakan air sebagai penggerak utamanya, dimana air yang mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah dengan tinggi jatuh tertentu.

Dalam penentuan jenis turbin yang hendak digunakan untuk pembangkit listrik yang didasarkan atas tinggi jatuh atau head dari turbin, maka jenis turbin tersebut dapat dikalsifikasikan seperti tabel berikut.

Tabel IV.20.

Klasifikasi Turbin Berdasarkan Tinggi Jatuh

Kategori	Tinggi jatuh	Jenis Turbin
Low Head	5 - 10 m	Propellar
Medium Head	25 - 350 m	Francis/Kaplan
Hight Head	300 - 1800 m	Pelton

Sumber : Teknik Tenaga Listri. Ir Aris Munandar

Untuk PLTA Bendo ini yang mempunyai tinggi jatuh brutto sebesar 35.125 meter, sehingga dipilih jenis turbin Kaplan.

## B A B V

## RENCANA UMUM BENDUNGAN DAN SARANANYA

## 5.1. UMUM

Penentuan rencana konstruksi bendungan dilakukan untuk memperoleh struktur bendungan yang akan dibuat sehingga nantinya dapat ditaksir biaya yang dibutuhkan. Dalam perencanaan ini dibuat bendungan type urugan yang sesuai dengan study pada bab II. Penentuan rencana tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi topografi, geologi, material yang dapat diperoleh untuk tubuh bendungan yang dekat dengan lokasi dan memenuhi syarat teknis serta faktor-faktor lain yang mungkin dapat berpengaruh pada perencanaan bendungan.

Didalam rencana umum bendungan ini akan mencakup analisa atau perhitungan struktur tubuh bendungan antara lain :

- Perencanaan Spillway

Spillway merupakan bagian bangunan dari suatu bendungan yang berguna untuk melepaskan air yang tidak ditampung oleh waduk, sehingga dapat mencegah terjadinya over topping pada tubuh bendungan. Didalam perencanaan spillway, dipergunakan perhitungan flood routing untuk

mengetahui besarnya debit yang keluar dari spillway. Pada perencanaan spillway ini meliputi perhitungan kapasitas bangunan pelimpah, flood routing, bentuk penampang spillway dan penentuan stilling basin.

- Perencanaan tubuh bendungan

Dalam perencanaan tubuh bendungan ini meliputi perhitungan tinggi bendungan, lebar mercu dan kemiringan lereng.

- Bangunan pengelak

Bangunan pengelak ini dimaksudkan untuk mengelakkan aliran sungai sebelum dan selama pekerjaan pembangunan dilaksanakan. Setelah selesainya pembangunan saluran pengelak atau cofferdam, maka bangunan tersebut akan tenggelam dan dimanfaatkan untuk keperluan irigasi, yang mana intake tersebut dari kerangka beton dan dilengkapi dengan jembatan untuk menuju ruang pengoperasian untuk. Untuk perencanan bangunan pengelak ini meliputi perhitungan cofferdam dan saluran pengelak.

- Analisa stabilitas lereng tubuh bendungan

Stabilitas lereng tubuh bendungan ini merupakan kunci dari stabilitas tubuh bendungan secara keseluruhan. Untuk konstruksi bendungan urugan direncanakan pada tingkat stabilitas dengan faktor keamanan sama dengan 1,2 atau lebih sebagai syarat yang dapat diijinkan. Untuk dapat mengetahui kestabilan dari tubuh bendungan ini, maka

ditinjau dalam tiga kondisi yaitu pada kondisi sesudah tubuh bendungan selesai dibangun, pada kondisi permukaan air waduk mencapai elevasi maksimum dan pada saat terjadi gejala penurunan mendadak (Rapid Drop Down).

## 5.2. PERENCANAAN SPILLWAY

Spillway merupakan bagian dari bendungan yang berfungsi untuk melepas air yang tidak dapat ditampung oleh waduk. Untuk bendungan jenis urugan, spillway ini juga berfungsi untuk mencegah terjadinya over topping. Didalam pemilihan jenis spillway yang cocok untuk bendungan Bendo perlu diperhitungkan faktor-faktor sebagai berikut :

1. Topografi dan jenis tanah pondasi
2. Kemiringan tebing
3. Jumlah galian yang diperlukan dan kemungkinan penggunaan sebagai material timbunan

Dimensi bangunan pelimpah direncanakan untuk debit sebesar 1,2 Q<sub>100</sub> (debit banjir) dengan periode ulang 100 tahun. Lebar spillway direncanakan 25 meter dan untuk mengetahui ketinggian muka air banjir dan elevasi puncak bendungan diperlukan perhitungan "Flood Routing" sebagai berikut :

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \cdot \Delta t - \frac{Q_1 + Q_2}{2} \cdot \Delta t = S_2 - S_1 \quad [ 5.1 ]$$

dimana :

I = inflow pada saat t ( $m^3/dt$ )

O = outflow pada saat t ( $m^3/dt$ )

$\Delta t$  = selisih waktu antara  $t_1$  dan  $t_2$

S = besarnya tampungan ( $m^3$ )

Persamaan tersebut diatas dapat dirubah menjadi :

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t + (S - 1/2 O_1 \Delta t) = (S + 1/2 O_2 \Delta t)$$

Sehingga dapat dibuat grafik yang menyatakan suatu hubungan antara :

- Debit terhadap luas elevasi muka air diatas spillway.
- Tampungan terhadap tinggi muka air ( S vs Elv ).
- (  $S + 1/2 O_2 \Delta t$  ) dan Outflow.

Dalam perumusan flood routing tersebut diperlukan data mengenai infow, sehingga direncanakan inflow yang masuk adalah inflow dari hidrograf banjir PMP. Sedangkan untuk perencanaan outflow yaitu debit yang melimpah diatas spillway dihitung dengan perumusan [ 5.2 ], yang mana lebar efektif ambang direncanakan sebesar 25 m, dan harga keefisien (C) limpahan dihhitung dengan perumusan [ 5.3 ]. Dalam penentuan harga C sebelumnya ditentukan dulu tinggi air diatas ambang ( $h_o$ ) sebesar 3 m yang dianggap dasar untuk menentukan perhitungan selanjutnya. Ssehingga setelah harga inflow dan outflow diketahui, maka untuk membuat flood

routing dapat dilakukan dengan membuat grafik yang telah disebutkan diatas.

### 5.2.1. Perhitungan Kapasitas Bangunan Pelimpah

Direncanakan type spillway (pelimpah) adalah free over flow atau pelimpah terbuka dengan ambang jenis "Ogee", maka debit yang melalui pelimpah dihitung dengan perumusan :

$$Q = C \cdot L \cdot H_o^{3/2} \quad [ 5.2 ]$$

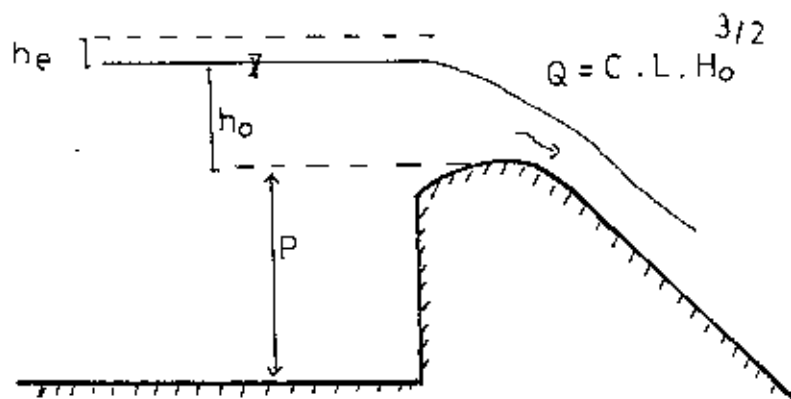
dimana :

$Q$  = debit yang melimpah diatas spillway ( $m^3/dt$ )

$C$  = koefisien limpasan

$L$  = lebar efektif ambang spillway (m)

$H_o$  = tinggi energi diatas ambang spillway (m)



Untuk keperluan perencanaan dimensi bangunan pelimpah diperlukan data debit banjir rencana yang dipakai sebagai dasar perencanaan dimensi yang kapasitasnya disesuaikan dengan umur bendungan. Untuk perencanaan pelimpah dari waduk Bendo, maka debit rencana diambil dengan periode ulang 100 tahun yang dikalikan dengan angka keamanan 1,2, yaitu  $1,2 \times 182,14 = 218,568 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

#### Menentukan koefisien limpahan

Koefisien limpahan (C) dihitung dengan perumusan Iwasaki (sumber: Bendungan Type Urugan oleh Ir Suyono Sosrodarsono & Kensaku Takeda), dimaksudkan agar faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya koefisien limpahan tersebut bisa tercapai. Adapun faktor-faktor tersebut adalah :

1. tinggi bendung (p)
2. tinggi air diatas ambang (H)

Perumusan Iwasaki :

$$Cd = 2,2 - 0,0416 \left( \frac{Hd}{P} \right)^{0,00} \quad [ 5.3 ]$$

$$C = 1,60 \frac{1 + 2a (H/Hd)}{1 + a (H/Hd)}$$

dimana :

Cd = koefisien limpahan

C = koefisien limpahan pada saat  $H = Hd$

untuk harga  $C = C_d$  dan  $H = H_d$ , maka :

$$2,168 = 1,6 \cdot \frac{1 + 2a}{1 + a}$$

$$a = 0,5513$$

$$\text{sehingga : } C = 1,6 \cdot \frac{1 + 2 \cdot 0,5513 \cdot (H/H_d)}{1 + 0,5513 \cdot (H/H_d)}$$

Untuk dapat mengetahui besarnya debit yang melimpah di atas spillway dapat dilihat pada tabel.V.1.

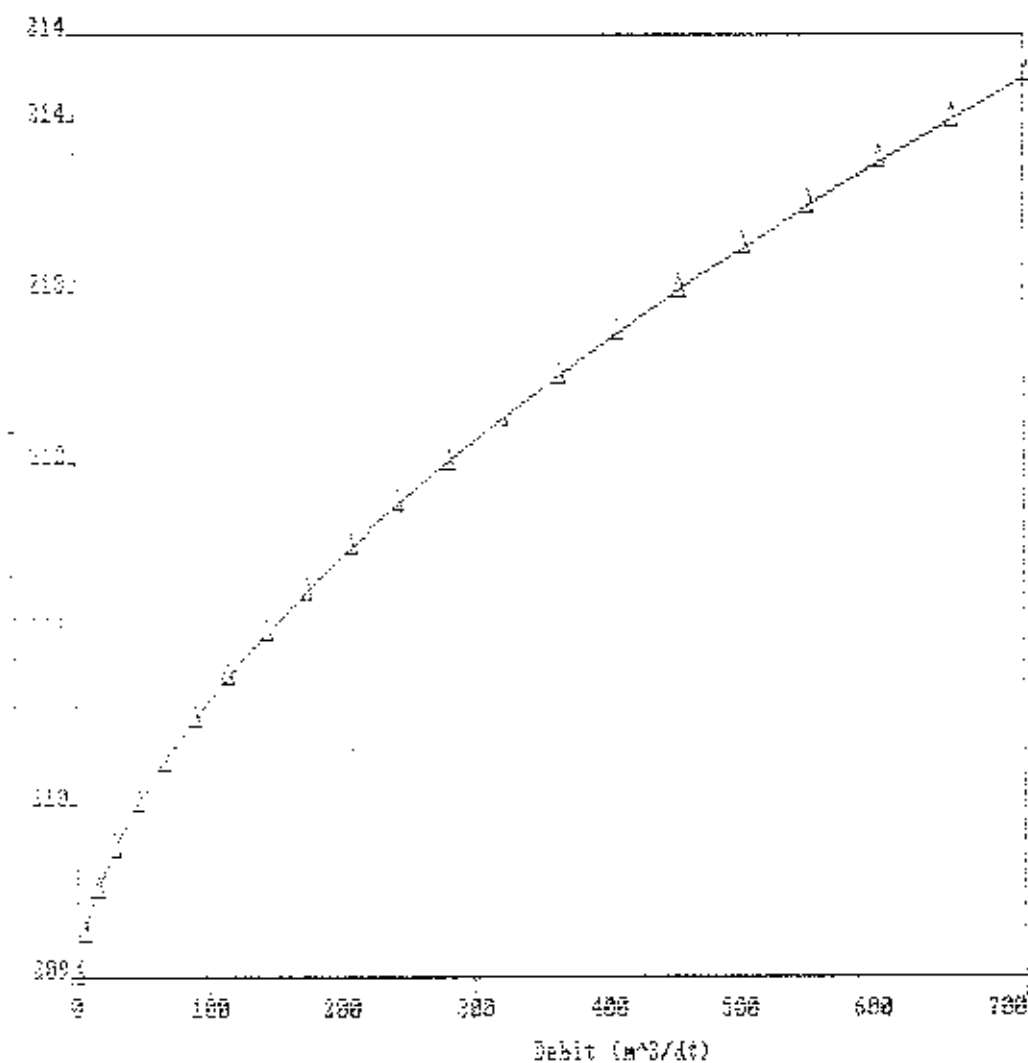


Tabel 1.1.

Perhitungan Antara Elevasi dan Densitas yang melanda pada Spillway

Elevasi	$h$ (m)	$D$ (m) $(=0.5 \times d)$	$z$ (m)	$\frac{h^2}{2} \left( 1 + \frac{D}{h} \right)$ (m)	$\frac{h^2}{2} \left( 1 + \frac{D}{h} \right)$ (m)
203.00	1.00	1.636	25	0.000	0.000
203.25	0.25	1.675	25	0.125	5.220
203.50	0.50	1.708	25	0.354	10.322
203.75	0.75	1.741	25	0.683	20.296
204.00	1.00	1.849	25	1.000	46.210
204.25	1.25	1.868	25	1.399	66.345
204.50	1.50	1.846	25	1.837	89.362
204.75	1.75	1.868	25	2.315	115.182
205.00	2.00	2.000	25	2.828	143.843
205.25	2.25	2.049	25	3.378	174.530
205.50	2.50	2.104	25	3.953	207.690
205.75	2.75	2.157	25	4.560	243.643
206.00	3.00	2.170	25	5.196	281.843
206.25	3.25	2.200	25	5.859	322.273
206.50	3.50	2.230	25	6.549	365.045
206.75	3.75	2.254	25	7.262	409.887
207.00	4.00	2.273	25	8.000	455.860
207.25	4.25	2.302	25	8.762	504.142
207.50	4.50	2.324	25	9.546	554.667
207.75	4.75	2.346	25	10.352	607.090
208.00	5.00	2.366	25	11.180	661.371
208.25	5.25	2.386	25	12.029	717.455
208.50	5.50	2.404	25	12.899	775.205

GRAFIK 6.1 HUBUNGAN ANTARA ELEVASI DAN DEBIT YANG MELIMPAN



### 5.2.2. Perhitungan Flood Routing

Flood routing ini dimaksudkan untuk mengetahui daya tampung waduk terhadap banjir rencana. Dengan analisa ini akan dapat diketahui antara lain :

1. Elevasi atau muka air tertinggi pada reservoir (ambang pelimpah).
2. Debit maksimum outflow (melalui pelimpah)

Sehingga dengan demikian dapat diketahui seberapa jauh banjir dapat dikendalikan berkaitan dengan kapasitas pelimpah yang direncanakan dan tinggi jagaan ditetapkan agar tidak terjadi overtopping. Untuk besarnya debit yang melimpah pada spillway dan storagenya dengan elevasi tertentu dapat dilihat pada tabel V.2.

Persamaan routing :

$$\begin{aligned}\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} &= \frac{S_2 - S_1}{t} \\ \frac{I_1 + I_2}{2} - \left(\frac{O_1 + O_2}{2}\right) &= \frac{S_2}{t} - \frac{S_1}{t} \\ \left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) - \left(\frac{S_1}{t} - \frac{S_2}{t}\right) &= \left(\frac{S_2}{t} + \frac{S_1}{t}\right)\end{aligned}$$

bila :

$$\begin{aligned}\frac{S_1}{t} - \frac{S_2}{t} &= \psi \\ \frac{S_2}{t} + \frac{S_1}{t} &= \varphi\end{aligned}$$

maka persamaannya menjadi :

$$\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) + \psi = \varphi$$

dimana :

$$\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) = \text{inflow rata-rata}$$

$\psi$  = tampungan pertama ( $m^3/dt$ )

$\phi$  = tampungan kedua, yang selanjutnya dipakai sebagai dasar penentuan besarnya debit outflow ( $m^3/dt$ )

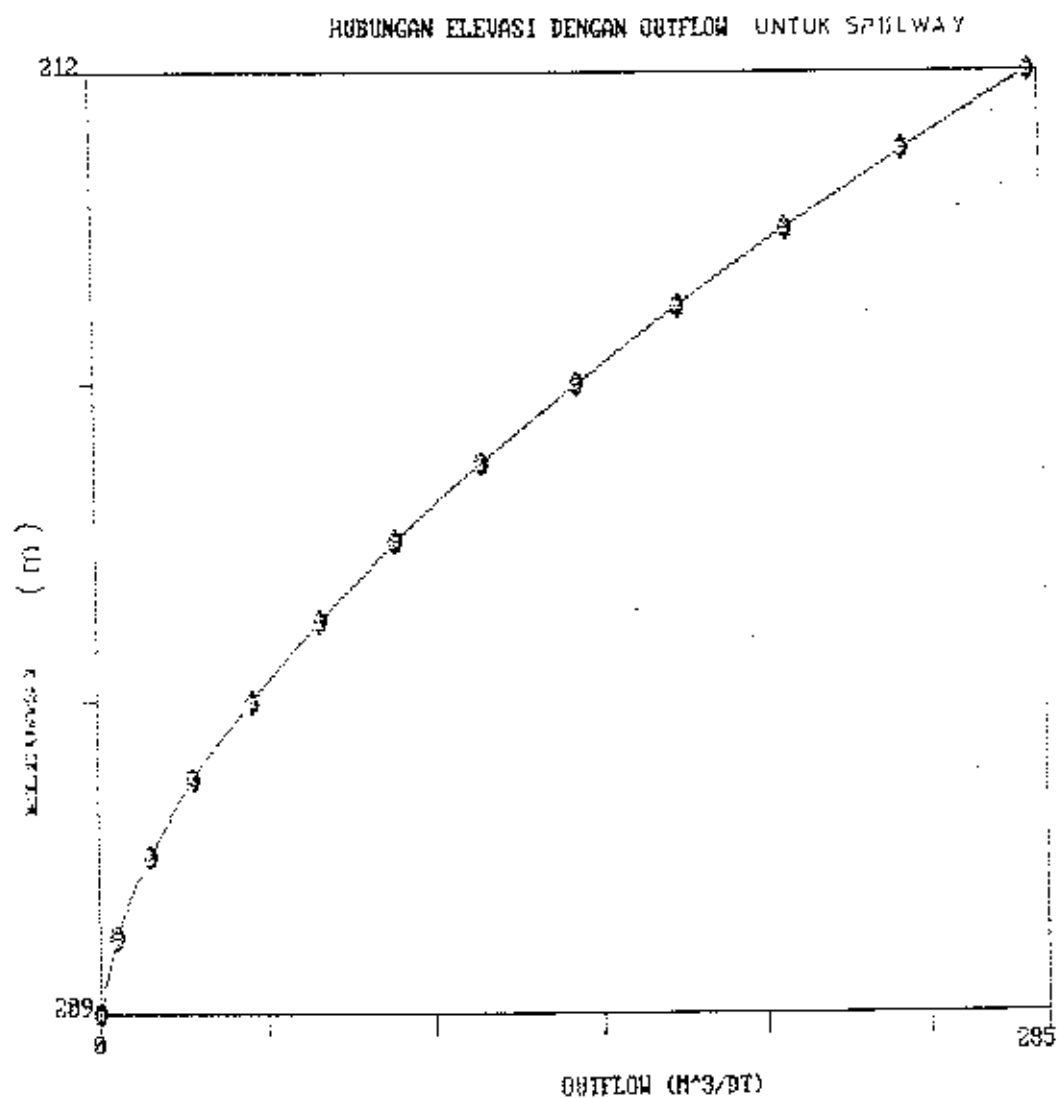
Sedangkan besarnya inflow pada reservoir yang terjadi untuk banjir rencana PMP dapat dilihat pada tabel V.3. Dari perhitungan flood routing didapatkan elevasi FWL (Flood water level) yang diambil dari elevasi terbesar yaitu 213,80.

Tabel 0,2.

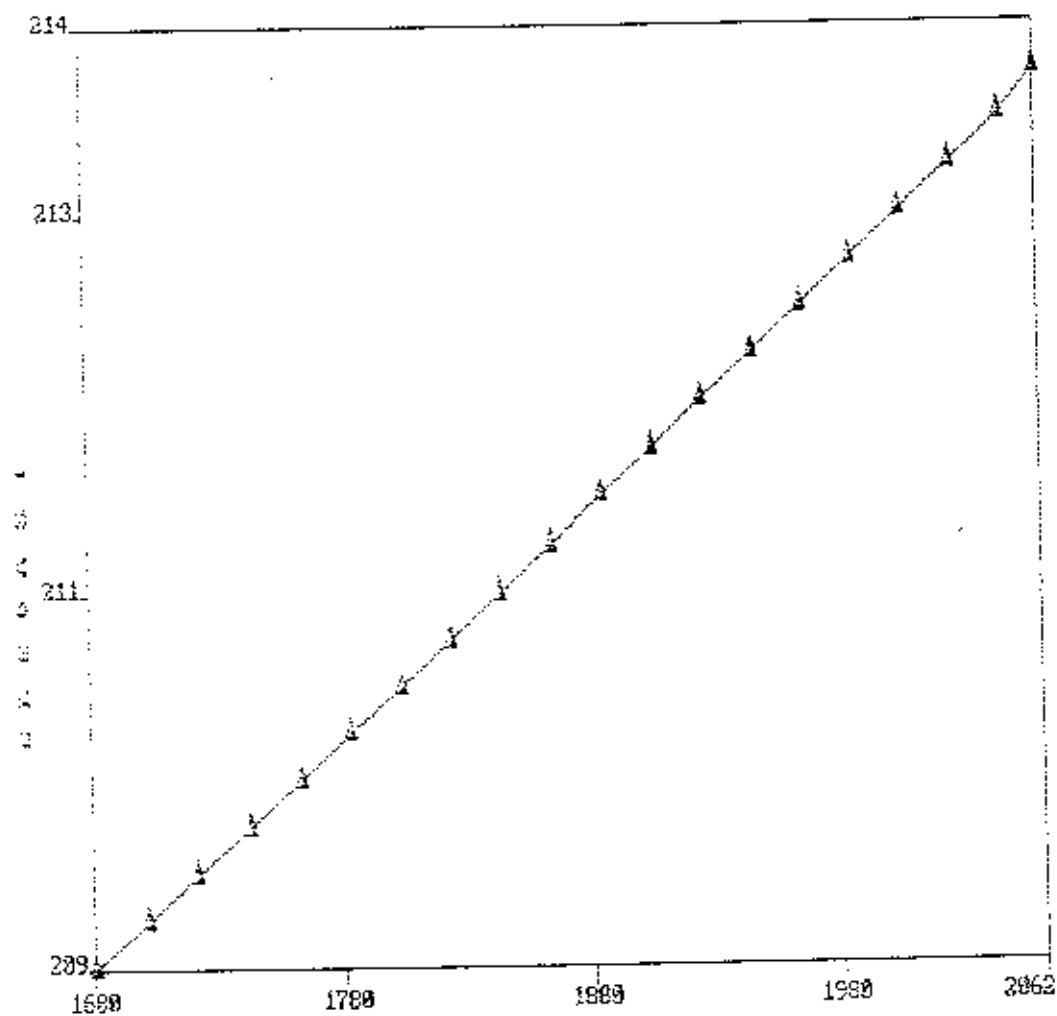
Bendungan Elevasi, Storage dan  $(2S/t+Q)$ 

Elevasi	Storage $\times 10^6 \text{ m}^3$	Outflow $\text{m}^3/\text{dt}$	$(2S/t+Q)$ $\text{m}^3/\text{dt}$
205.00	30.250	0.100	16805.560
206.25	30.625	0.220	17118.110
207.50	31.000	0.330	17421.200
208.75	31.275	0.430	17721.340
210.00	31.750	0.540	18019.380
211.25	32.125	0.640	18314.370
212.50	32.450	0.740	18607.440
213.75	32.845	0.830	18897.000
215.00	33.210	0.930	19184.000
216.25	33.575	1.020	19468.400
217.50	33.840	1.100	19750.200
218.75	34.305	1.180	20029.300
219.00	34.670	1.240	20305.700
219.25	35.040	1.290	20579.400
219.50	35.400	1.340	20850.400
219.75	35.745	1.380	21118.600
220.00	36.100	1.430	21384.000
220.25	36.450	1.470	21646.600
220.50	36.800	1.510	21906.400
220.75	37.125	1.550	22163.400

GRAFIK 5.2.



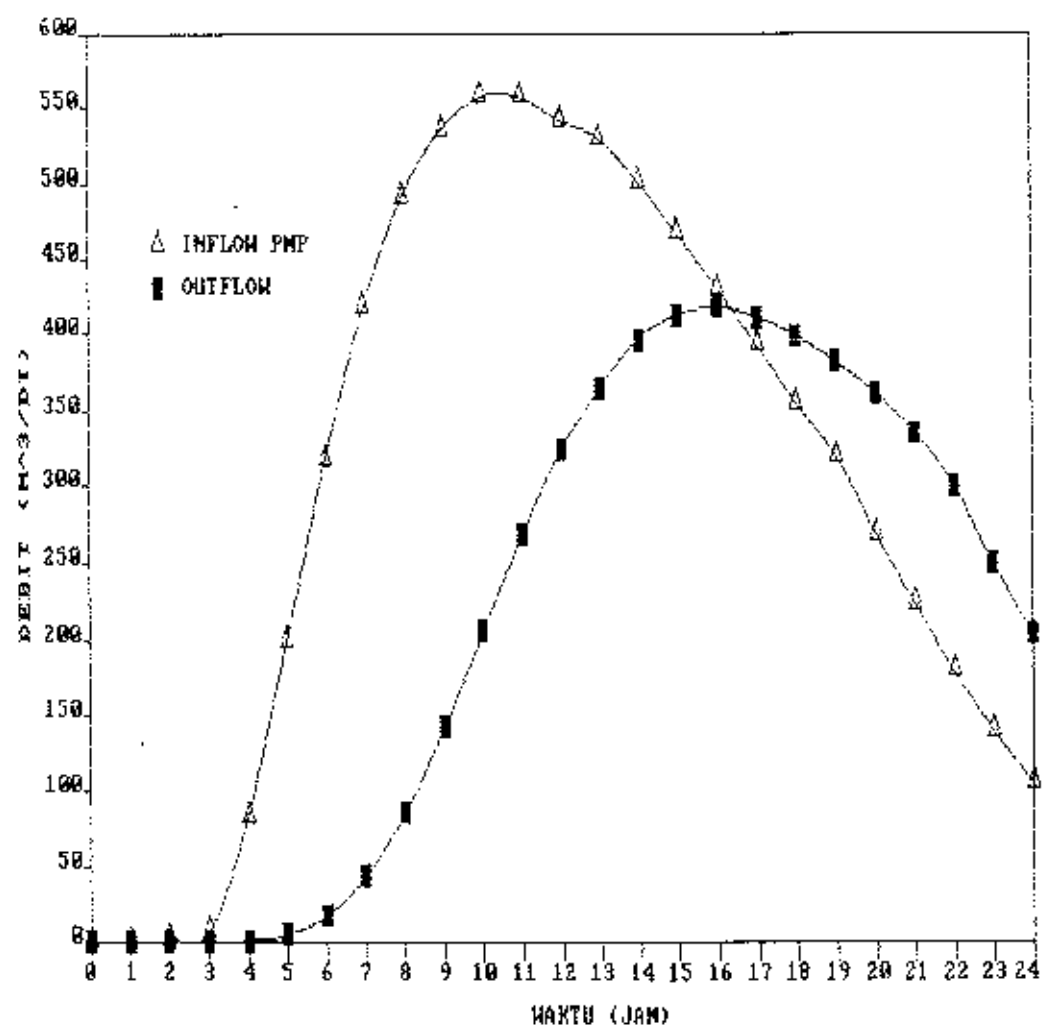
GRAFIK 5.3.

HUBUNGAN ANTARA ALEVASI DAN  $(2S/T+0)$  SPILLWAY

# STUDY PENDAHULUAN

BENDUNGAN BENDO DI KABUPATEN PONOROGO, JAWA TIMUR

HUBUNGAN ANTARA INFLOW DAN OUTFLOW SPILLWAY





### 5.2.3. Bentuk Penampang Spillway

Bentuk penampang lintang spillway terdiri dari 2 bagian yaitu ;

1. Penampang lintang disebelah hulu dari titik tertinggi mercu spillway
2. Penampang lintang di sebelah hilir dari titik tertinggi mercu spillway

Perumusan yang dipergunakan untuk menentukan bentuk penampang lintang spillway dari Design Of Small Dams dengan menggunakan grafik 5.5 dan 5.6 serta perhitungan dari Bab 5.2.1., maka didapatkan :

$$- \frac{h_a}{H_d} = \frac{0,08}{3,08} = 0,026 \text{ dan grafik 5.5. didapat } k = 0,505 \\ \text{dan } n = 1,86$$

$$- \frac{h_a}{H_d} = 0,026 \text{ dan grafik 3.6. sehingga didapatkan ;}$$

$$a. \frac{X_c}{H_d} = 0,27 \text{ , maka } X_c = 0,27 \times 3,08 = 0,8316 \text{ m}$$

$$b. \frac{Y_c}{H_d} = 0,116 \text{ , maka } Y_c = 0,116 \times 3,08 = 0,3573 \text{ m}$$

$$c. \frac{R_1}{H_d} = 0,525 \text{ , maka } R_1 = 0,525 \times 3,08 = 1,6170 \text{ m}$$

$$d. \frac{R_2}{H_d} = 0,220 \text{ , maka } R_2 = 0,220 \times 3,08 = 0,6776 \text{ m}$$

GRAFIK 5.4.

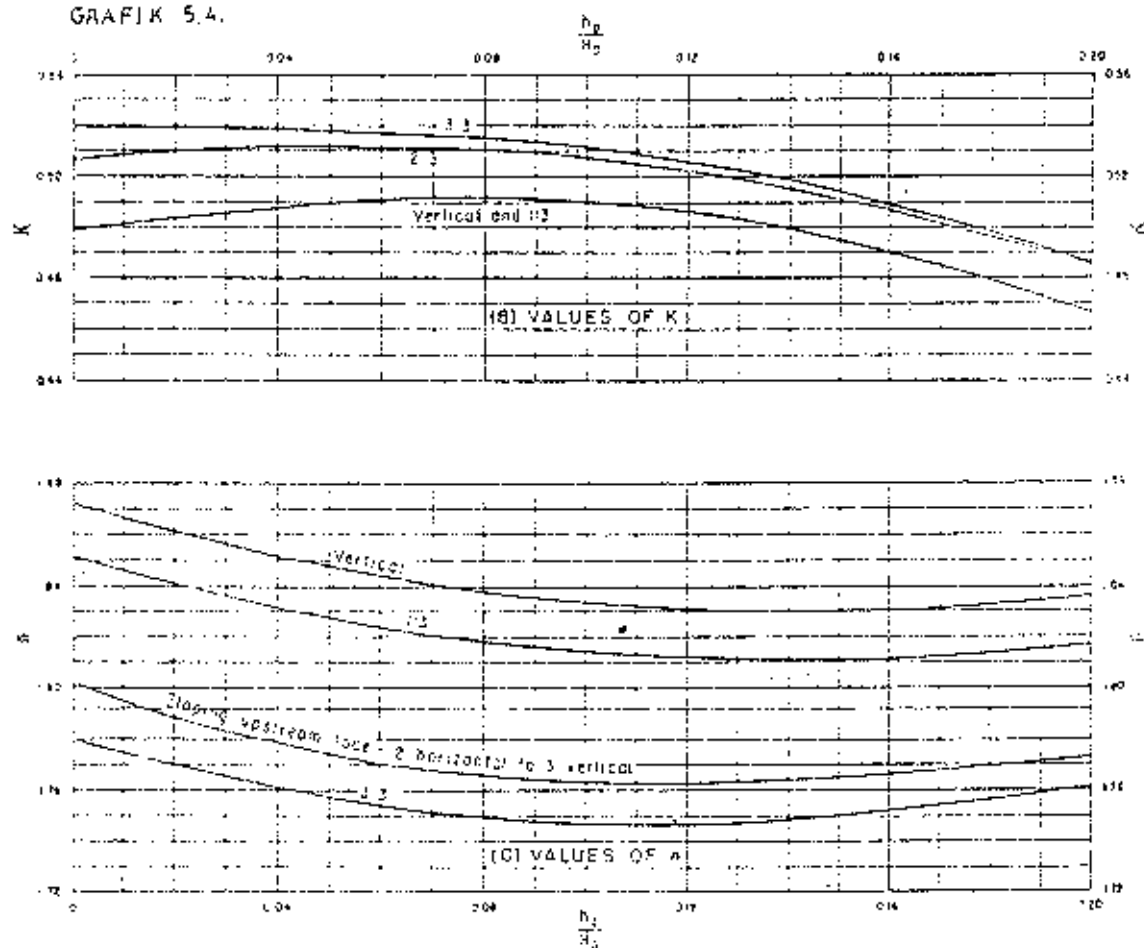


Figure 2.47. Factors for definition of nappe-shaped crest profiles, 255-C-2406. (Sheet 1 of 2.)

GRAFIK 5.5.

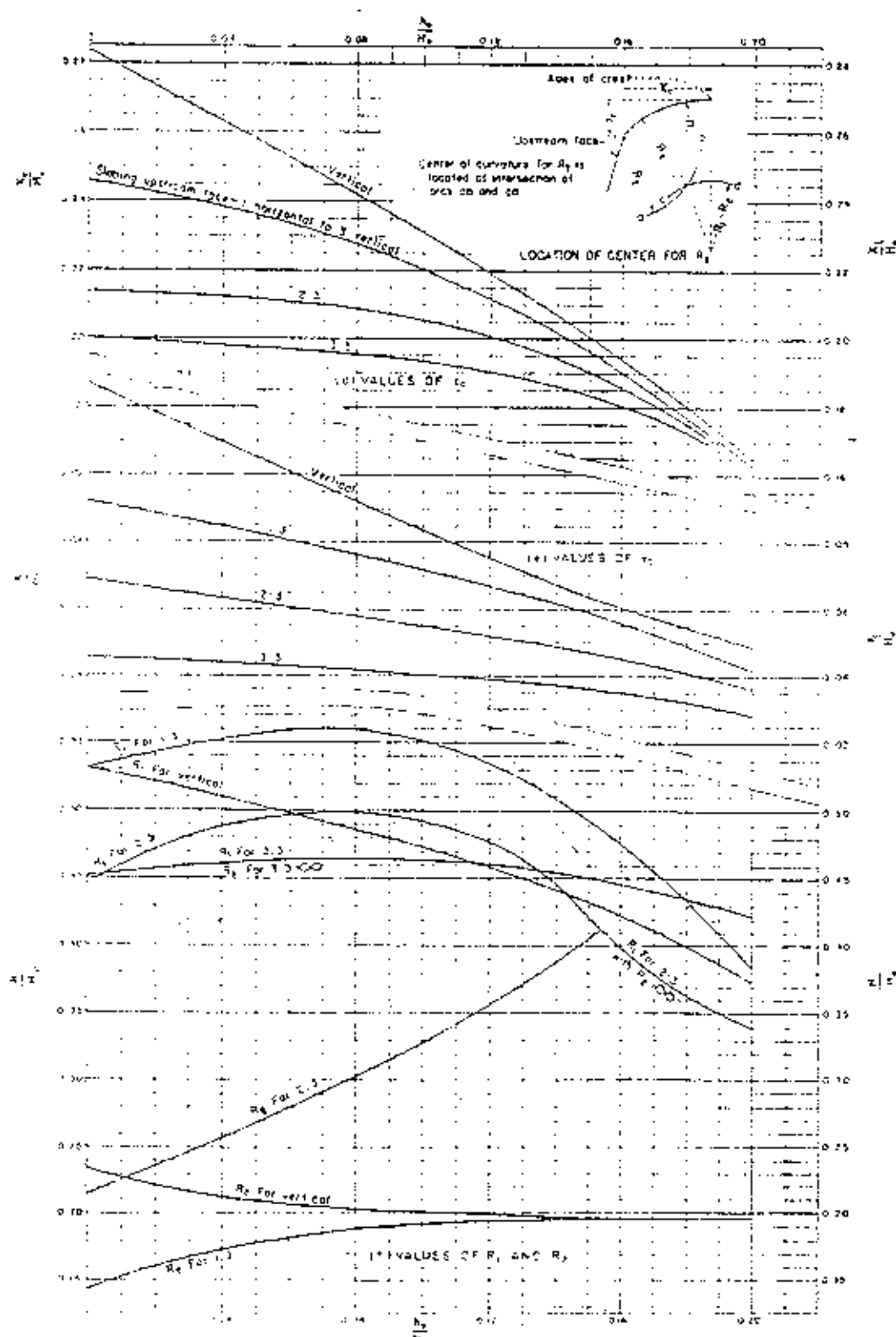


Figure 247 Factors for definition of hump-shaped crest profiles. 288-0-2407, (Sheet 2 of 2)

Untuk menentukan bentuk penampang lintang dipakai persamaan :

$$\frac{Y}{H_d} = -k \left( \frac{X}{H_d} \right)^n \quad [ 5.4. ]$$

dimana :

$H_d$  = tinggi muka air diatas mercu spillway

$X, Y$  = koordinat profil mercu dengan titik awal pada titik tertinggi dari mercu.

$k, n$  = parameter yang tergantung pada kemiringan mercu spillway

persamaan menjadi :

$$\begin{aligned} \frac{Y}{3,08} &= -0,505 \times \left( \frac{X}{3,08} \right)^{1,86} \\ Y &= -0,1919 X^{1,86} \end{aligned}$$

mencari letak titik singgung dengan menurunkan persamaan  $Y = -0,1919 X^{1,86}$  menjadi :

$$\frac{dy}{dx} = -0,3569 X^{0,86}$$

dimana persamaan garis yaitu  $Y = a X$

Direncanakan kemiringan lereng disebelah hilir spillway

1 : 1, maka persamaan garis :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-1}{1} = -1$$

Persamaan untuk titik singgungnya :

$$\frac{dy}{dx} = -0,3569 X^{0,86}$$

$$Y' = 1$$

$$X = -3,3136 \text{ m}$$

$$Y = -0,1919 X^{1,865}$$

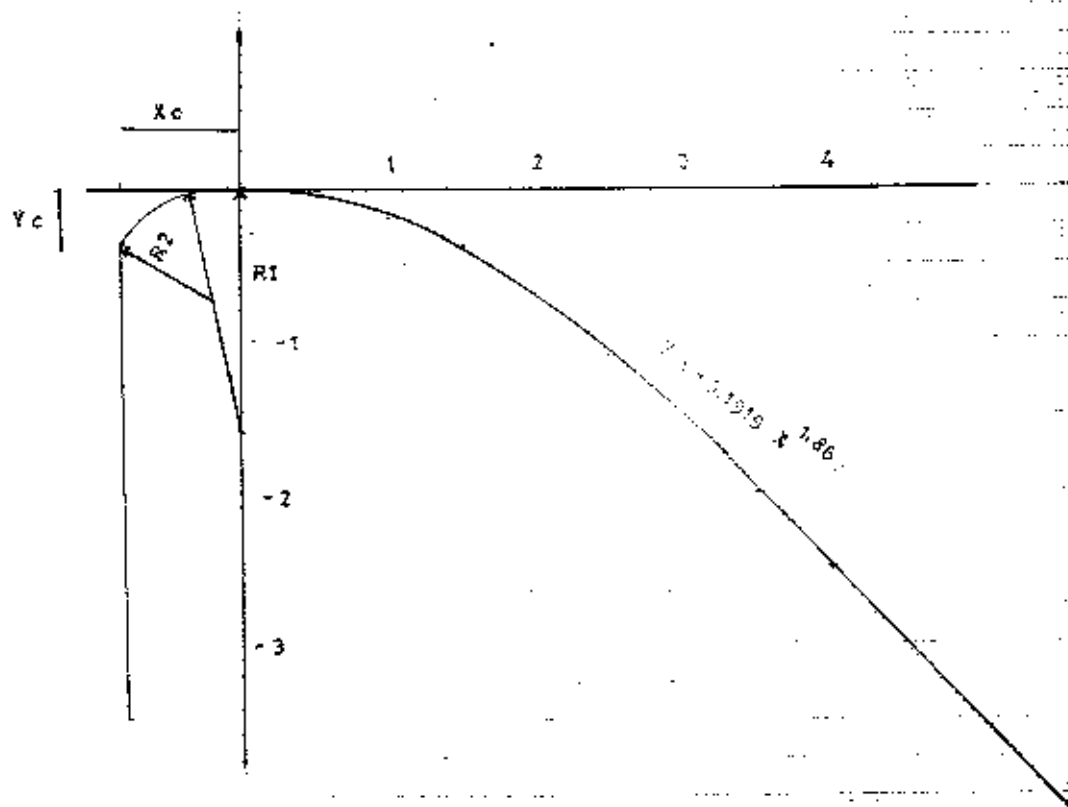
$$\begin{aligned}
 &= -0,1919 (-3,3136)^{1,86} \\
 &= 1,780 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi koordinat titik singgungnya (X,Y) adalah (-3,3136 , 1,780).

Tabel V.4.

Hasil Perhitungan lengkung Peralihan Profil Spillway

Persamaan lengkung : $Y = 0,1919 X^{1,865}$	
X	Y
0	0
0,5	- 0,052
1,0	- 0,1919
1,5	- 0,4079
2,0	- 0,6966
2,5	- 1,0550
3,0	- 1,4096
3,5	- 1,9726
4,0	- 2,5288



#### 5.2.4. Penentuan Stilling Bazin

Sebelum aliran yang melintasi bangunan pelimpah dikembalikan kedalam sungai, maka aliran dengan kecepatan yang tinggi dalam kondisi super kritis tersebut harus diperlambat dan dirubah pada kondisi aliran sub kritis. Dengan demikian kandungan energi dengan gaya penggerus yang sangat kuat ditimbulkan dalam aliran tersebut harus direduksi, sehingga aliran tersebut kembali ke sungai tanpa membahayakan kestabilan alur sungai yang bersangkutan.

Untuk mereduksi energi yang terdapat didalam aliran tersebut, maka diujung hilir saluran peluncur dibuat suatu bangunan yang dinamakan peredam energi berbentuk kolam. Dimana peredam energi sebagian besar terjadi akibat proses gesekan diantara molekul-molekul air, sehingga timbul olakan-olakan didalam kolam tersebut dinamakan peredam energi type kolam olakan ( Stilling Bazin Type ).

Perhitungan stilling bazin :

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (0,5H_1 + z)} \quad [ 5.5 ]$$

dimana ;

$V_1$  = kecepatan awal loncatan, m/dt

$g$  = percepatan grafitasi, m/dt<sup>2</sup>

$H_1$  = tinggi energi diatas ambang

$z$  = tinggi jatuh = elv crest spillway - elv dasar  
 $= 209 - 150 = 59 \text{ m}$

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot 9,8 (0,5 \cdot 3,8 + 59)} = 34,55 \text{ m.}$$

$$q = \frac{Q_{pmp}}{b_e} = \frac{557,14}{25} = 22,2856 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m.}$$

$$q = V_1 \cdot d_1$$

$$d_1 = \frac{22,2856}{34,55} = 0,645 \text{ m}$$

$$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot d_1}} = \frac{34,55}{\sqrt{9,8 \cdot 0,645}} = 13,743 > 4,5$$

$$\frac{d_2}{d_1} = 1/2 (\sqrt{1+8Fr^2} - 1)$$

$$= 1/2 (\sqrt{1+8 \cdot 13,743^2} - 1)$$

$$= 18,94$$

$$d_2 = 18,94 \cdot 0,645 = 12,22 \text{ m.}$$

Tinggi tail water minimum didapat dari grafik 5.7., sehingga diperoleh  $= 1,0 \cdot d_2$

$$= 1,0 \cdot 12,22 = 12,22 \text{ m}$$

Panjang loncatan yang terjadi dari grafik.5.7. didapat

$$\frac{L}{d_2} \text{ dengan } Fr = 13,743 \text{ diperoleh } \frac{L}{d_2} = 2,8$$

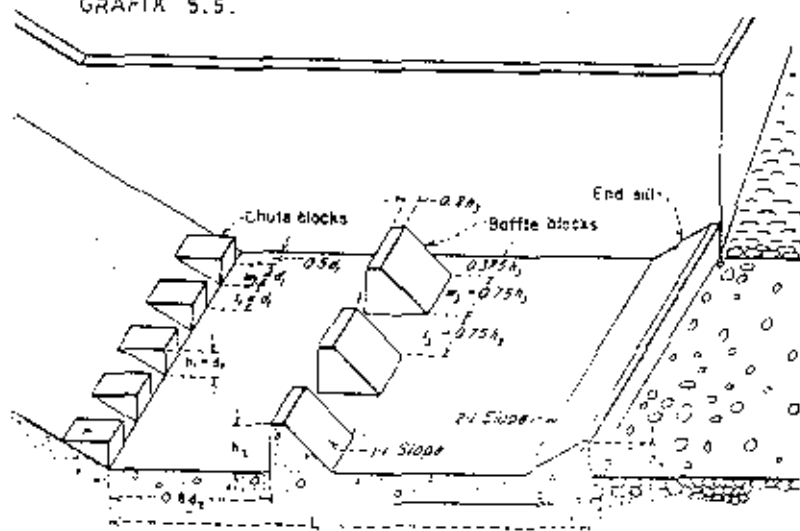
Jadi panjang loncatan air (L) = panjang Stilling Bazin

$$L = 2,8 \cdot 12,12 = 34,216 \text{ m.}$$

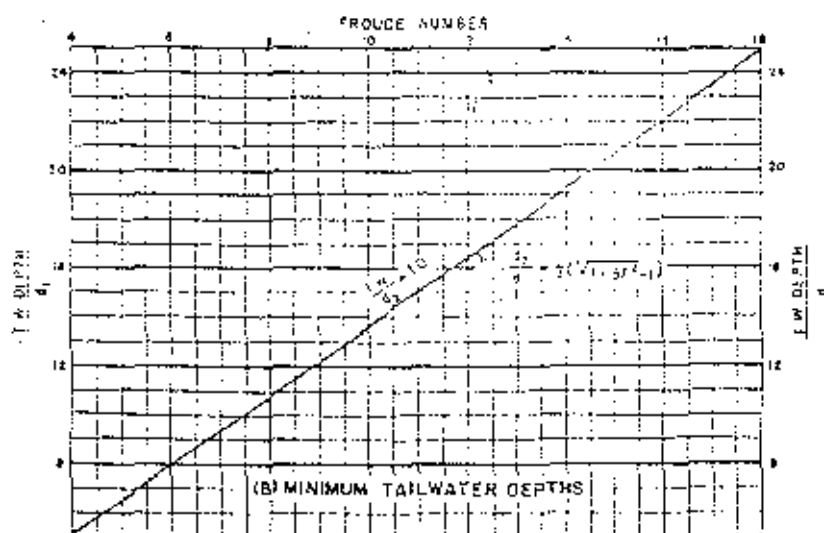
Dari perhitungan diatas dengan  $Fr = 13,743 > 4,5$ , maka dipakai type III USBR.



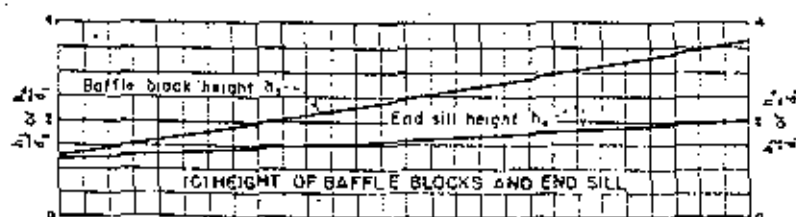
GRAFIK 5.5.



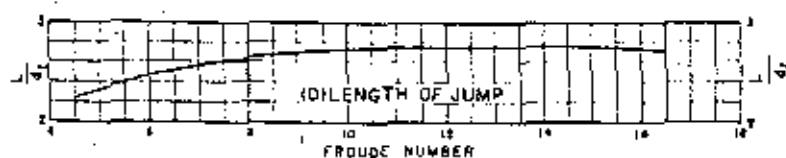
(A) TYPE III BASIN DIMENSIONS



(B) MINIMUM TAILWATER DEPTHS



(C) HEIGHT OF BAFFLE BLOCKS AND END SILL



(D) LENGTH OF JUMP

266. Stilling basin characteristics for use with Froude numbers above 4.5 where incoming velocity ( $V_1$ ) does not exceed 50-60 feet per second. 288-D-2426.

Tinggi jagaan stilling bazin :

Tinggi jagaan yang dimaksudkan agar dinding stilling bazin tidak sampai dilampaui oleh loncatan yang terjadi.

Tinggi jagaan untuk Stilling Bazin dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$F = 0,1 ( V_1 + dz ) \quad [ 5.6 ]$$

dimana :

F = free board / tinggi jagaan (feet)

$V_1$  = kecepatan aliran masuk (ft/sec)

$dz$  = tinggi tail water (feet)

$V_1$  = 34,33 m/dt = 113,353 ft/dt

$dz$  = 12,22 m = 40,10 feet

$$F = 0,1 ( 113,353 + 40,10 )$$

$$= 15,3453 \text{ feet}$$

$$= 4,678 \text{ m}$$

**5.3. PERHITUNGAN COFFERDAM DAN SALURAN PENGELAK**

Pada pelaksanaan konstruksi bendungan, selalu diperlukan suatu saluran pengelak yang dipakai untuk menampung aliran sungai yang dialihkan dari alur sungai yang asli dan diperlukan juga bendungan pengelak untuk melindungi pekerjaan yang dilaksanakan.

Untuk menentukan periode ulang yang dipakai dalam perencanaan cofferdam dan saluran pengelak dipakai dasar perumusan sebagai berikut :

$$J = 1 - (1 - P)^N \quad [ 5.7 ]$$

dimana :

$J$  = besar derajat yang dipilih

$P$  = kemungkinan tidak terjadi ( $1/T$ )

$N$  = umur cofferdam (tahun)

$T$  = frekwensi banjir yang direncanakan

Batasan besarnya derajat resiko adalah 10-20 %, dan lama pelaksanaan konstruksi utama selama 5 tahun.

Perhitungannya untuk bendungan Bendo :

-  $J$  direncanakan = 20 %

- lama konstruksi utama ( $N$ ) = 5 tahun

$$J = 1 - (1 - P)^N$$

$$0,20 = 1 - (1 - P)^5$$

$$0,80 = (1 - P)^5$$

$$P = 0,05426$$

$$P = 1/T$$

$$T = 1/0,05426 = 18,43 \text{ tahun}$$

Jadi dipakai  $T$  selama periode ulang 20 tahun ( $Q_{20}$ ), dan dari hasil perhitungan analisa hidrologi pada bab III didapatkan  $Q_{20}$  sebesar  $144,14 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

Hubungan antara debit dengan ketinggian air diterowongan penggelak pada waktu aliran bebas (free flow) dipakai perumusan sebagai berikut :

$$Q = V \times A$$

$$V = 1/n \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

dimana :

$Q$  = debit yang mengalir ( $m^3/dt$ )

$A$  = luas basah ( $m^2$ )

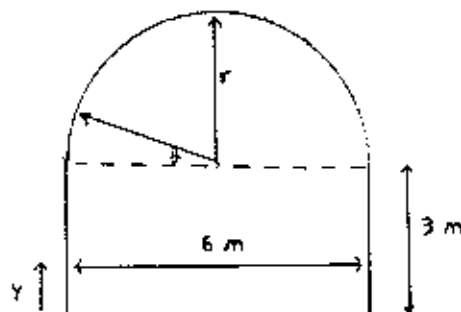
$V$  = kecepatan air rata-rata ( $m/dt$ )

$n$  = kekasaran manning, untuk beton = 0,015

$R$  = jari-jari hidrolis (m)

$I$  = kemiringan dasar (0.010)

Dipakainya saluran penggelak dengan bentuk terowongan ini disebabkan karena posisi dari saluran penggelak ini akan menembus bukit, sehingga bentuk terowongan penggelak dapat dilihat pada gambar berikut.



untuk ketinggian 0 - 3 m dari dasar saluran dipakai perumusan sebagai berikut :

$$A = 6.y$$

$$R = \frac{6.y}{6+2y}$$

Untuk ketinggian 3 - 6 m dari dasar saluran dipakai perumusan sebagai berikut :

$$A = 18 + 1/2.r^2 \left( \frac{2}{90}.\pi + \sin 2\Phi \right)$$

$$R = \frac{18 + 1/2.r^2 \left( \frac{2}{90}.\pi + \sin 2\Phi \right)}{12 + 4/90.\pi.r}$$

Direncanakan dimensi terowongan adalah :

- lebar terowongan = 6 meter
- jari-jari terowongan = 3 meter

Untuk mengetahui perhitungan besarnya debit yang berada pada terowongan dengan kedalaman air tertentu dapat dilihat pada tabel V.5., sedangkan dari tabel tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara kedalaman air yang ada diterowongan dengan besarnya debit dapat dilihat pada grafik 5.8.

Selanjutnya untuk mengetahui ketinggian dari cofferdam dapat dilakukan dengan perhitungan flood routing, dengan demikian perlu diketahui terlebih dahulu hubungan antara elevasi, outflow dan storage yang dapat dilihat pada tabel V.6. ,sedangkan perhitungan flood routingnya dapat dilihat pada tabel V.7.

Tabel U.3.

Hubungan antara Kedalaman Air Diterowongan Dengan Jebot

1	2	3	4	5
(A)		(m <sup>2</sup> )	(m)	(m <sup>3</sup> /det)
0.500	-	3.000	0.425	11.369
1.000	-	6.000	0.750	33.019
1.500	-	9.000	1.000	60.000
2.000	-	12.000	1.200	90.000
2.500	-	15.000	1.350	111.369
3.000	-	18.000	1.500	137.224
3.776	15	22.803	1.837	161.837
4.500	30	26.807	1.937	173.177
5.125	45	31.848	1.946	173.177
5.598	60	31.807	1.711	151.501
6.000	80	32.150	1.446	121.557

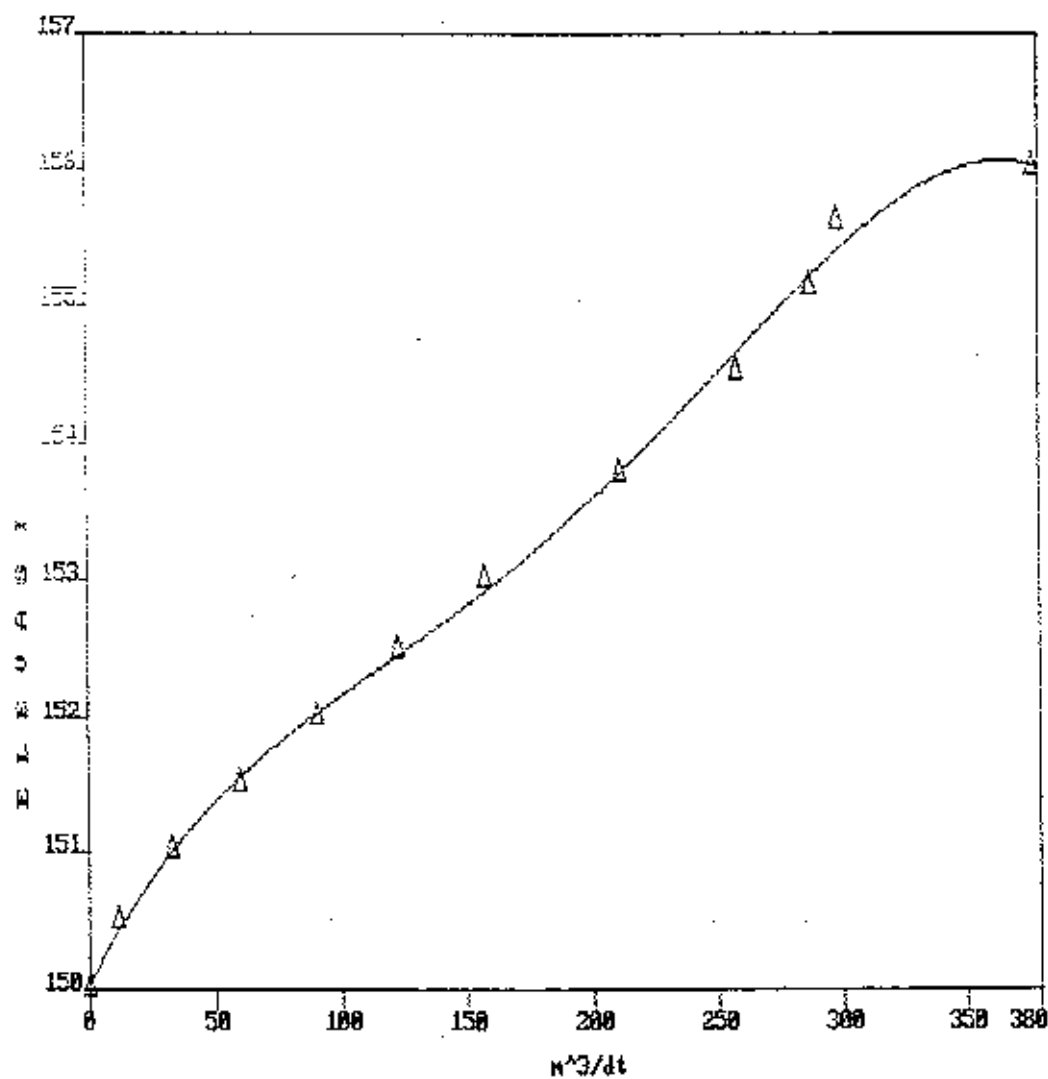
Tabel U.4

Hubungan antara Elevasi. Dangkal. air. (m. t. l.)

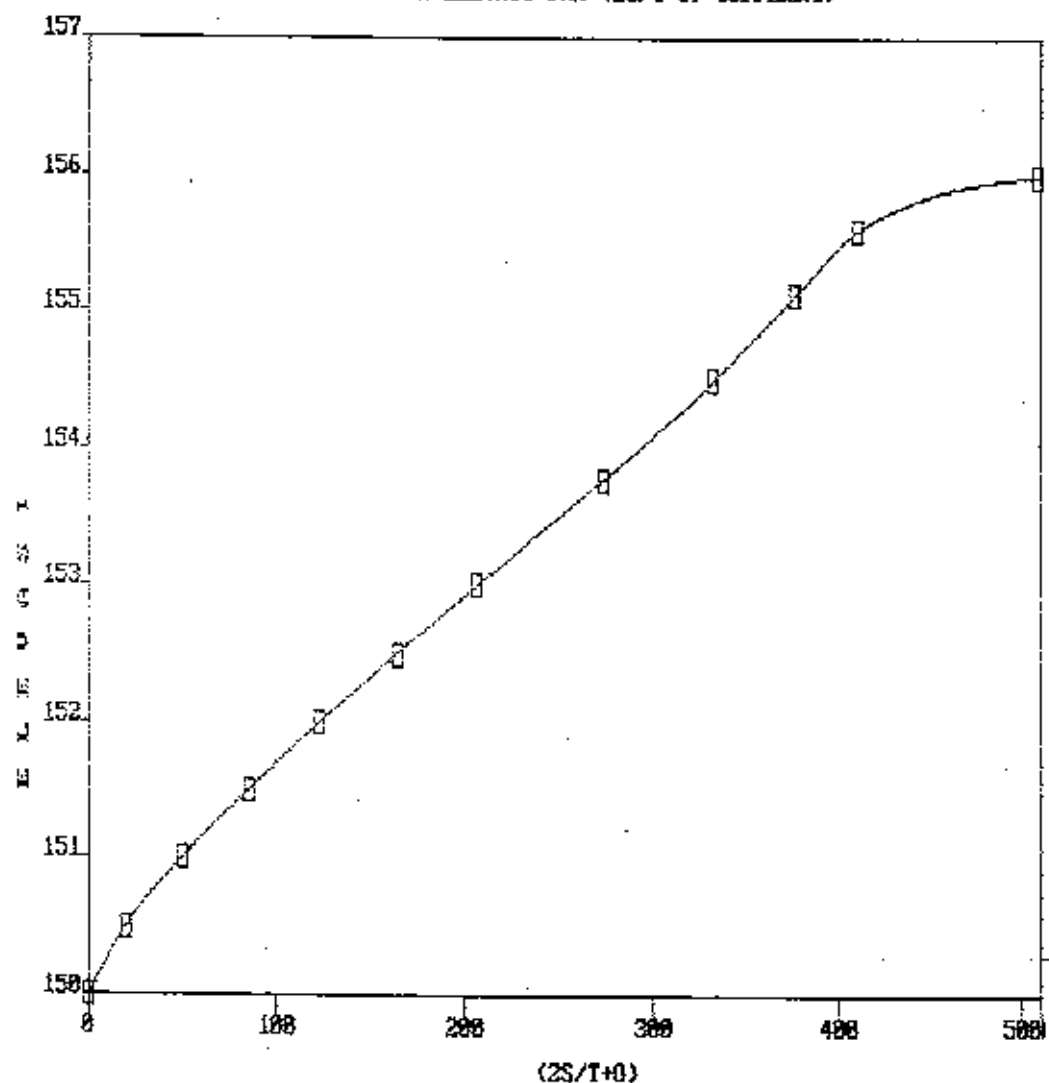
Elev	outflow	Storage	123.7-1.
(m <sup>2</sup> /det)	(m <sup>3</sup> + 123.7)	(m <sup>3</sup> /det)	(m <sup>3</sup> /det)
120.500	1.000	0.001	0.001
120.800	11.369	0.017	13.702
121.000	33.019	0.030	45.634
121.300	60.000	0.045	66.000
122.000	90.000	0.060	120.672
122.500	122.870	0.073	134.637
123.000	137.224	0.080	157.224
123.776	161.837	0.113	174.635
124.500	173.177	0.135	193.277
125.121	173.177	0.160	197.385
125.598	151.501	0.201	110.565
126.000	121.557	0.236	503.139

GRAFIK 5.7

HUBUNGAN ANTARA ELEVASI DENGAN OUTFLOW COFFERDAM



GRAFIK 58

HUBUNGAN ANTARA ELEVASI DAN  $(2S/T+0)$  COFFERDAM



Tabel U.7.  
Perhitungan elevasi muka air tanggul berdasarkan curut banjir

T	I	(11-12)/2	outflow	(21/2-0)	(25/2-0)	Elevasi
(Jam)	(m3/dt)	(m3/dt)	m3/dt	m3/dt	m3/dt	
0	0		0.000			180.000
1	0.14	0.07	0.023	0.0470	0.0700	180.002
2	0.14	0.14	0.044	0.1740	0.1370	180.015
3	2.14	1.14	0.662	0.6140	1.0160	180.363
4	23.14	11.64	7.071	5.4720	12.5740	180.881
5	32.14	36.64	38.003	1.8160	41.8400	180.763
6	32.14	67.14	48.807	27.4314	73.3318	181.287
7	108.14	55.14	54.767	57.8924	112.881-	181.808
8	327.14	107.64	110.897	44.8784	157.7604	182.317
9	333.14	132.64	123.158	43.8404	177.6004	182.877
10	144.14	141.14	132.608	51.4824	191.1114	182.728
11	144.14	144.14	140.668	54.8684	192.9814	182.783
12	140.14	142.14	142.688	58.4114	197.3924	182.778
13	134.14	137.14	141.426	50.8284	191.5614	182.772
14	126.14	130.14	128.867	32.1184	181.4474	182.887
15	117.14	121.64	123.107	30.6614	171.7884	182.942
16	107.14	112.14	117.162	45.4684	161.6114	182.911
17	37.14	102.14	104.842	42.5874	149.7714	182.828
18	37.14	81.14	57.088	38.6884	117.1174	182.671
19	78.14	59.14	55.574	37.3274	111.1184	181.922
20	70.14	74.64	74.880	58.1734	111.1634	181.730
21	59.14	64.14	66.912	72.3564	88.9104	181.604
22	46.14	52.14	55.467	29.3684	84.8684	181.418
23	36.14	41.14	44.512	27.4844	71.1084	181.213
24	27.14	31.64	30.377	16.7884	57.8884	181.008

Dari hasil perhitungan flood routing dari tabel V.7, dapat diketahui elevasi air tertinggi sebesar + 152,773 dan dengan direncanakan tinggi jagaan sebesar 3,0 meter, sehingga didapatkan elevasi puncak cofferdam, Yaitu :

$$\text{Elv puncak cofferdam} = + 152,773 + 3,0 = + 155,773$$

Jadi tinggi cofferdam sebesar Elv puncak cofferdam dikurangi Elv dasar =  $155,773 - 150 = 5,77$  m atau diambil sebesar 7,0 meter.

#### S.4. PERENCANAAN TUBUH BENDUNG

Ada beberapa kriteria yang harus diperhitungkan dalam perencanaan bendungan, agar diperoleh bendungan yang aman dan stabil antara lain ;

- Tinggi timbunan harus aman dari pelimpahan yang dapat disebabkan oleh faktor-faktor gelombang atau gempa.
- Tekanan pada dasar pondasi dan konsolidasi yang terjadi harus dipertimbangkan.
- Kemiringan talud atau lereng bendung harus stabil.
- Seepage yang melalui timbunan harus terkendali sehingga erosi dapat dicegah.
- Pemilihan bahan material yang direncanakan untuk struktur tubuh bendungan harus ada didaerah sekitar proyek dan memenuhi syarat.

$g$  = percepatan gravitasi  $m/dt^2$

$H_o$  = kedalaman air dalam waduk

$$= 212,80 - 150 = 62,80 \text{ m}$$

$$h_e = \frac{0,15 \cdot 1}{\pi} \sqrt{(9,8 \cdot 62,80)}$$

$$= 1,184 \text{ m}$$

$$\frac{h_e}{2} = \frac{1,184}{2} = 0,592 \text{ m}$$

c. Angka tambahan tinggi jagaan yang didasarkan pada tinggi bendungan

Untuk bendungan type urugan maka angka tambahan tinggi jagaan ( $h_u$ ) diambil 1 meter.

d. Kenaikan permukaan air waduk disebabkan oleh ketidaknormalan operasi pintu bangunan pengelak ( $h_a$ ) diambil sebesar 0,5 meter

Jadi besarnya tinggi jagaan total ;

$$H_f = \Delta h + \frac{h_e}{2} + h_e + h_u$$

$$= 0,099 + 0,592 + 1 + 0,5 = 2,191 \text{ m.}$$

Berdasarkan pada tinggi bendungan yang direncanakan, maka angka standart untuk tinggi jagaan bendungan urugan dengan tinggi antara 50 - 100 m maka  $H_f > 3$  meter, sehingga tinggi jagaan diambil 3 meter.

Sehingga besarnya elevasi puncak bendung dapat ditentukan dengan menjumlahkan tinggi air banjir maksimum dengan tinggi jagaan.

Jadi elevasi mercu bendung utama adalah :

$$= + 212,80 + 3 = + 215,29 \approx + 216$$

sehingga tinggi bendung =  $216 - 150 = 66$  m.

## 2. Perhitungan lebar mercu bendung

Lebar mercu bendung yang memadai perlu direncanakan agar puncak bendungan dapat bertahan tertahan hempasan ombak diatas permukaan lereng yang berdekatan dengan mercu tersebut dan dapat bertahan terhadap aliran aliran filtrasi yang melalui bagian puncak tubuh bendungan.

Perumusan lebar mercu bendung :

$$B = 3,6 H^{1/3} - 3 \quad [ 5.10 ]$$

dimana :

B = lebar mercu bendung (m)

H = tinggi bendung (m)

$$\begin{aligned} B &= 3,6 (66)^{1/3} - 3 \\ &= 11,55 \text{ m} \approx 12 \text{ m.} \end{aligned}$$

## 3. Penentuan miring talud bendungan

Untuk menghitung miring talud dipakai cara pendekatan sebagai berikut :

a. Lereng bagian upstream

$$SF_{\text{upstream}} = \frac{m - k.j'}{1+k.m.j'} \times \text{tg } \phi$$

b. Lereng bagian down stream ,

$$SF \text{ down stream} = \frac{n - k}{1 + k \cdot n} \times \operatorname{tg} \phi$$

dimana :

SF = untuk upstream dan down stream

$\phi$  = sudut geser dalam batuan, diambil  $40^\circ$

k = koefisien gempa, diambil = 0,15

$j'$  =  $1,8 \text{ t/m}^3$

m = kemiringan lereng hulu

n = kemiringan lereng hilir

Perhitungan miring talud bagian upstream (m) :

$$SF_{up} = \frac{m - k \cdot j'}{1 + k \cdot m \cdot j'} \operatorname{tg} \phi$$

$$1,2 = \frac{m - 0,15 \cdot 1,8}{1 + 0,15 \cdot m \cdot 1,8} \operatorname{tg} \phi$$

$$\frac{1,2}{0,84} = \frac{m - 0,27}{1 + 0,27 \cdot m}$$

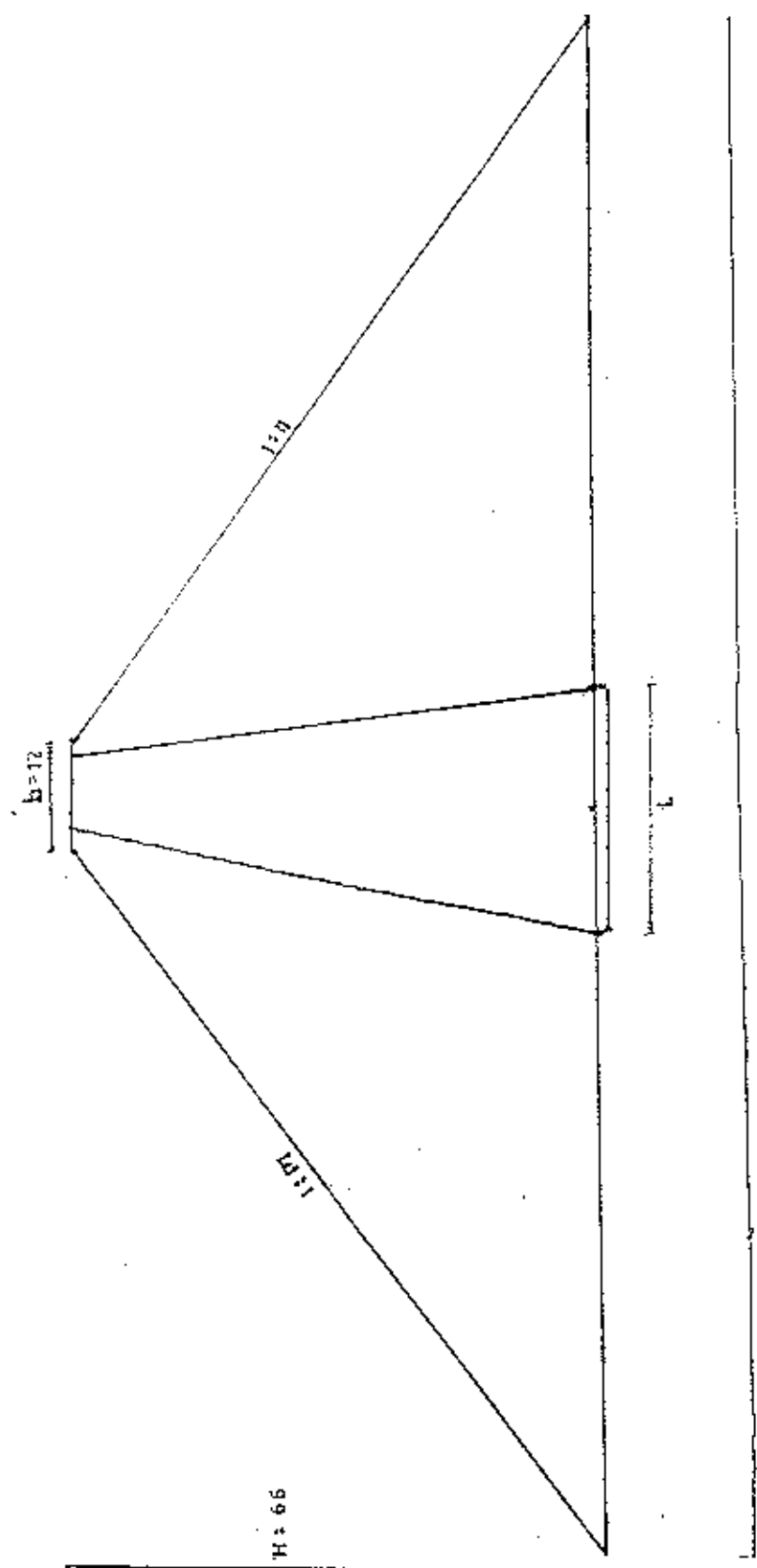
$$m = 2,8 \approx 3$$

Perhitungan lereng talud bagian down stream (n) :

$$SF_{ds} = \frac{n - k}{1 + k \cdot n} \operatorname{tg} \phi$$

$$\frac{1,2}{0,84} = \frac{n - 0,15}{1 + 0,15 \cdot n} \operatorname{tg} \phi$$

$$n = 2$$



### 5.5. ANALISA STABILITAS TUBUH BENDUNGAN

Jebolnya suatu bendungan urugan, biasanya dimulai dengan terjadinya suatu gejala longsor baik pada lereng udik maupun lereng hilir bendungan tersebut, yang disebabkan kurang memadainya stabilitas kedua lereng tersebut. Didalam pembangunan suatu bendungan urugan, stabilitas lereng merupakan kunci dari stabilitas tubuh bendungan secara keseluruhan. Untuk konstruksi bendungan urugan direncanakan pada tingkat stabilitas dengan faktor keamanan sama dengan 1.2 atau lebih sebagai syarat untuk dapat diijinkan pembangunan suatu bendungan.

Gaya-gaya atau beban-baban utama yang bekerja pada bendungan urugan akan mempengaruhi stabilitas tubuh bendungan dan pondasi dari bendungan tersebut adalah :

- Berat tubuh bendungan itu sendiri, yang membebani lapisan-lapisan yang lebih bawah dari tubuh bendungan dan membebani pondasi.
- Tekanan hidrostatik, yang akan membebani tubuh bendungan dan pondasi.
- Tekanan air pori yang terkandung diantara batuan dan zone-zone tubuh bendungan.
- Gaya seismic, yang menimbulkan gaya-gaya dinamis baik yang bekerja pada tubuh bendungan maupun bendungan.

Pada perhitungan stabilitas tubuh bendungan, peninjauan

dapat dilakukan terhadap tiga kondisi :

1. Pada pondasi setelah pekerjaan pembangunan main dam (waduk dalam keadaan kosong).
2. Pada kondisi waduk dalam keadaan penuh (saat muka air normal).
3. Pada kondisi dimana terjadi gejala penurunan mendadak permukaan air waduk (rapid drop down).

Untuk mengetahui kestabilan tubuh bendungan Bendo ini apakah cukup kuat menahan berat material sendiri maupun gaya-gaya luar yang terjadi diperhitungkan dengan metode irisan luncur bundar.

Adapun perumusannya adalah sebagai berikut :

$$F_s = \frac{\sum [CL + (N-U-Ne) \cdot \tan \phi]}{\sum (T-Te)} \quad [ 5.11 ]$$

dimana ;

$F_s$  = faktor keamanan

$N$  = beban komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur.

$T$  = beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur ( $T = \gamma A \sin \phi$ )

$U$  = tekanan air pori yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur ( $U = u \cdot b / \cos \phi$ ,  $u = \gamma \cdot h$ ).

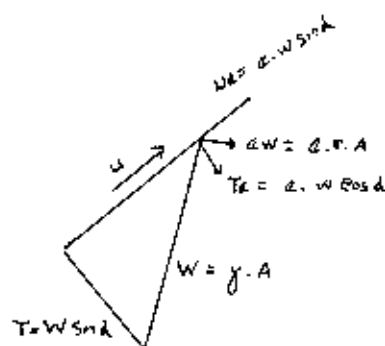
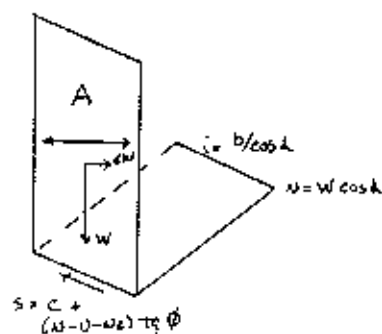
$Ne$  = komponen vertikal beban seismic yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur ( $Ne = e \cdot \gamma \cdot A \cdot \sin \phi$ ).

$Te$  = komponen tangensial beban seismic yang bekerja pada



setiap irisan bidang lancur ( $T_e = e \cdot \gamma \cdot A \cdot \sin \phi$ ).

- $\phi$  = sudut gesekan dalam bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang lancur.
- $C$  = angka kohesi bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang lancur.
- $e$  = intensitas seismic horizontal (diambil 0,15).
- $\gamma$  = berat isi dari setiap bahan pembentuk irisan bidang lancur.
- $A$  = luas dari setiap bahan pembentuk irisan bidang lancur.
- $\alpha$  = sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang lancur.

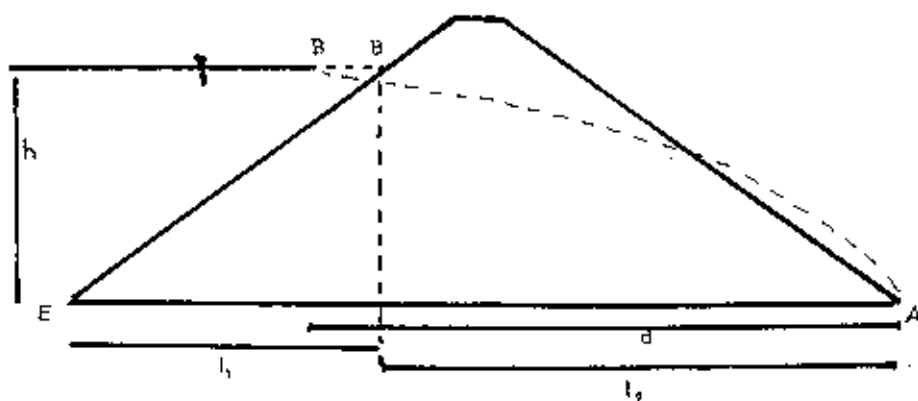


Stabilitas bendungan terhadap aliran Filtrasi

Untuk mengetahui kemampuan daya tahan tubuh bendungan terhadap gaya-gaya yang timbul oleh adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah-celah antara butiran-butiran tanah pembentuk tubuh bendungan, maka perlu diteliti dahulu hal-hal sebagai berikut :

- Formasi garis depresi (seepage line formation) dalam tubuh bendungan dengan elevasi tertentu pada permukaan air dalam waduk yang direncanakan.
- Kapasitas air filtrasi yang mengalir melalui tubuh bendungan.

Perhitungan untuk menentukan formasi garis depresi dengan metode Casagrande.



Untuk inti kedap air :

$$d = 0,3.L_1 + L_2$$

$$Y_o = \sqrt{(h^2 + d^2)} - d$$

$$Y = \sqrt{2.Y_o + Y_o^2}$$

dimana :

d = jarak horizontal antara titik A - B<sub>1</sub>

h = jarak vertikal antara titik A - B

L<sub>1</sub> = jarak horizontal antara titik B - E

L<sub>2</sub> = jarak horizontal antara titik A - B

Data dimensi untuk bendungan Bendo Yaitu ;

- Lebar inti bendungan = 6 m
- Lebar mercu bendungan = 12 m
- Kemiringan bagian udik tubuh bendungan 1 : 3
- Kemiringan bagian hilir tubuh bendungan 1 : 2
- Tinggi mercu bendungan = 66 m
- Kemiringan inti bendungan direncanakan = 1 : 0,2
- Elevasi muka air banjir = + 212,80

perhitungannya :

$$h = 62,8 + 2 = 64,8 \text{ m}$$

$$L_1 = 64,8 \times 0,20 = 12,56 \text{ m}$$

$$d = 0,3L_1 + L_2$$

$$L = 2 \times (68 \times 0,2) + 6 = 33,2 \text{ m}$$

$$L_2 = L - L_1$$

$$= 33,2 - 12,56 = 20,64 \text{ m}$$

$$d = 0,3 \times 12,56 + 20,64 = 24,408 \text{ m}$$

$$Y_0 = \sqrt{64,80^2 + 24,804^2} - 24,804$$

$$= 44,838 \text{ m}$$

$$Y_0/2 = 22,418 \text{ m}$$

maka persamaan garis depresinya :

$$Y = \sqrt{(2 \times 44,836 \times X + 44,836^2)} =$$

dan diperoleh koordinat parabola yang merupakan formasi garis depresi sebagai berikut :

X (m)	-22,418	0	5	10	15	20	25
Y (m)	0	44,84	49,33	53,92	57,93	61,67	64,80

akan tetapi garis parabola tersebut, bukanlah garis persamaan yang sesungguhnya dan masih karus dikonservasikan sebesar ;

$$a + \Delta a = \frac{Y_0}{1 - \cos \alpha} \quad ; \quad \arctg 1/0,2 = 78,64^\circ$$

$$\text{jadi } a + \Delta a = \frac{44,838}{1 - \cos \alpha} = 55,774 \text{ m}$$

untuk harga  $\alpha = 78,64^\circ$  dengan grafik 5.10. didapat harga  $c = 0,28$ .

$$c = \frac{\Delta a}{a + \Delta a} = 0,28 \quad , \quad \text{maka } \Delta a = 0,28 \times 55,774 = 15,619 \text{ m}$$

$$a = 55,774 - 15,619 = 40,157 \text{ m}$$

Untuk zone lolos air

Persamaan :

$$h_z = \frac{1}{20} \times Y_0 = 1/20 \times 44,836 = 2,2418$$

$$Y = \sqrt{2 \times 2,2418 \times X + 2,2418^2} = \sqrt{4,4836X + 5,0237}$$

diperoleh bentuk dasar koordinat parabola sebagai berikut :

X (m)	Y (m)
0	2,2418
5	5,2387
10	7,06128
20	9,7313
30	11,8124
40	13,5783
50	15,1395
60	16,5542
70	17,8571
80	19,0713
90	20,2136
100	21,2929
110	22,3209
120	23,3036
130	24,2465
-1,1209	0

#### Kapasitas Aliran Filtrasi

Kapasitas filtrasi adalah kapasitas rembesan air yang mengalir ke hilir melalui tubuh bendungan. Untuk memperkirakan besarnya kapasitas filtrasi suatu bendungan dapat dilakukan dengan menggunakan jaringan trayektori aliran filtrasi atau dengan menggunakan rumus empiris. Dalam perencanaan ini, maka besarnya

kapasitas filtrasi yang mengalir melalui tubuh bendungan dihitung dengan perumusan empiris sebagai berikut :

$$Q = K_f \times Y_o \times L \quad [ 5.12.]$$

dimana :

$Q$  = debit aliran filtrasi ( $m^3/dt$ )

$K_f$  = koefisien filtrasi zone kedap air

$Y_o$  = jarak vertikal antara (titik perpotongan garis depresi - lereng hilir inti kedap air) dengan dasar bendungan.

$L$  = panjang profil melintang tubuh bendungan

Perhitungan kapasitas aliran filtrasi :

diketahui :

$K_f = 2 \times 10^{-7}$  » berdasarkan studi dari PBS

$Y_o = 44,838 \text{ m}$

$L = 352 \text{ m}$

Besarnya kapasitas aliran Filtrasi ( $Q$ ) =

$$\begin{aligned} Q &= 2 \times 10^{-7} \times 44,838 \times 352 \\ &= 0,032 \text{ m}^3/dt \\ &= 3,65 \times 10^{-7} \text{ m}^3/hari \end{aligned}$$

Perhitungan Stabilitas Lereeng Tubuh Bendungan

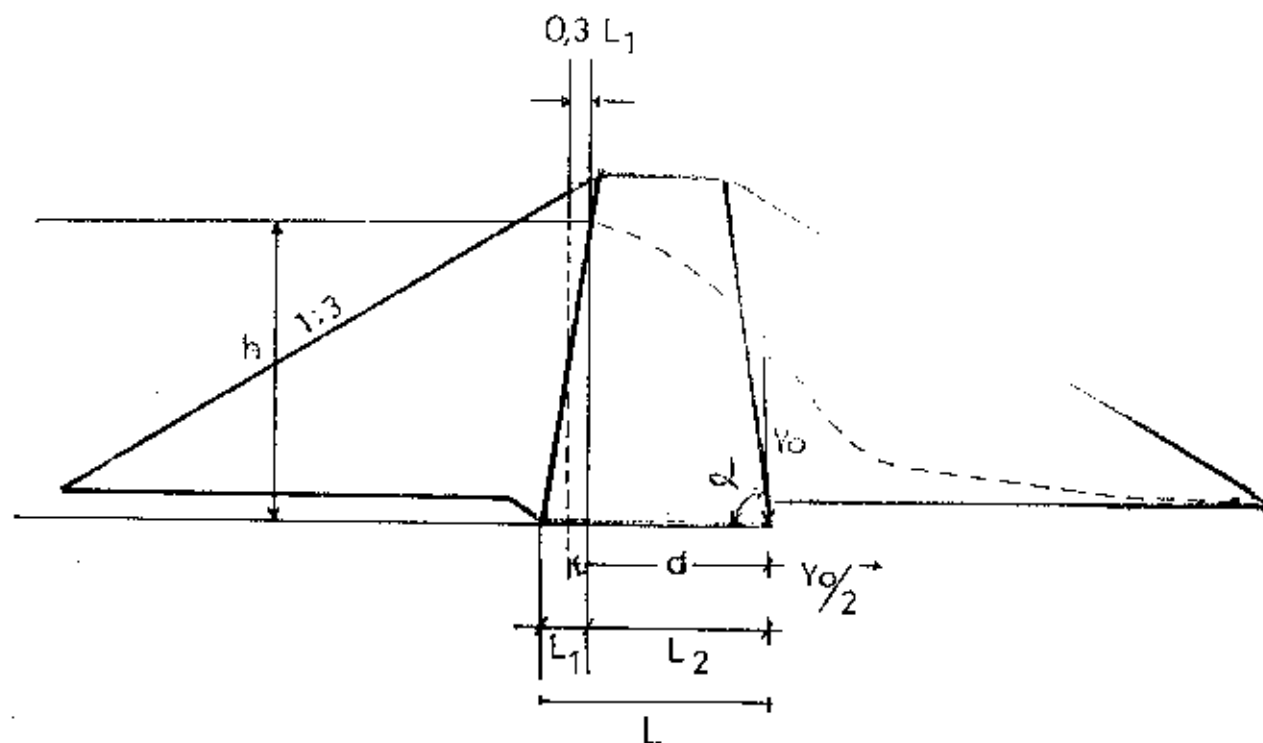
Stabilitas tubuh bendungan urugan dapat dicapai, jika nilai dari  $F_s \geq 1,20$ . Jika harga  $F_s$  tersebut  $\geq 1,20$ , maka

dapat dikatakan bahwa bendungan tersebut layak untuk dibangun.

Harga  $F_s$  untuk bendungan bendo pada kondisi muka air maksimum di daerah upstream dan downstream seperti pada tabel V.9 dan V.10, sedangkan untuk kondisi bendungan selesai di bangun dapat dilihat pada tabel V.11 dan V.12.

Selain kondisi tersebut diatas stabilitas tubuh bendungan ditinjau pula pada saat muka air turun mendadak (Rapid Drop Down), yaitu pada kondisi muka air turun tiba-tiba dari muka air maksimum sampai muka air berada ditengah dan pada kondisi air turun tiba-tiba dari muka air maksimum sampai keadaan kosong sehingga didapatkan harga seperti pada tabel V.13 dan V.14.

Ket	$\gamma_{wet}$ ( $t/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $t/m^3$ )	$\phi$	c	K (mm)
inti	1,80	2,00	$15^\circ$	2,5	$2 \times 10^{-7}$
filter	1,90	2,10	$34^\circ$		$2,6 \times 10^{-7}$
drain	2,10	2,30			
rock	2,53	2,83			bebas aliran



GAMBAR. 5.1.  
SKEMA FORMASI GARIS DEPRESI  
PADA BENDUNGAN INTI VERTIKAL



Pernitangan Stabilitas Tubuh Bendungan untuk bagian Upstream  
dalam keadaan kosong/telesi di dalam.

1.81 > 1.2 [ok]

Tabel 4.10.

Perhitungan Stabilitas Tubuh Bendungan untuk bagian Downstream  
dalam keadaan terpasang/selesai di bangun

No	Luas [m <sup>2</sup> ]	Batas [m]	$M = \frac{1}{2} \rho g H^2$ [kg]	sudut alfa	Sin	Cos	$T = W \sin$	$M = W \cos$	$H_{\text{eff}} = M \sin$	$U = U/\cos$	$k_s$	$(H-H_{\text{eff}})$ $l_q$	$C1 = 2 \cdot r/360$
1	116,5	2,53	279,365	-13,000	-0,225	0,974	-62,502	272,908	-9,435		0,8391	235,4948	$C1 = 2,53 \times 2,53 \times 141622 \times 13/360$ $= 79,8488$
2	272	2,53	685,16	-6,000	-0,105	0,995	-71,913	684,375	-10,787		0,8391	583,7104	
3	524	2,53	1572,72	1,000	0,017	0,999	18,773	1571,653	2,816		0,8391	5897,4445	
4	522	2,53	1523,81	9,000	0,156	0,988	205,925	1519,409	31,339		0,8391	1080,829	
5	603	2,53	1535,74	13,000	0,227	0,956	449,781	1471,015	67,467		0,8391	1117,120	
6	640	1,52	1617,12	25,000	0,423	0,906	684,274	1487,485	102,641		0,8391	1112,237	
7	541	1,52	1211,17	31,000	0,519	0,859	879,566	1303,334	131,935		0,2679	1313,9785	
	11	1,52	128,11										
	40	1,52	128,11										
8	12	1,52	128,11	42,500	0,685	0,725	280,333	811,733	81,080		0,2679	140,3523	
	11	1,52	128,11										
	56	1,52	128,11										
	122,5	1,52	128,11										
9	31	1,52	128,11	55,000	0,815	0,579	402,865	202,685	60,430		0,2679	159,38139	
	53	1,52	128,11										
	123	1,52	128,11										
										3089,504	8483,5112	563,486	5635,164

$$T_r = r, k_{s1}$$

$$= 0,25(3485,06) = 872,759$$

$$F_s = C1 + (X-H_{\text{eff}}) / (T-T_r) = 79,8488(5635,163) / (3089,504 + 872,759)$$

$$1,33 > 1,2 \text{ (ok)}$$

## BENDUNGAN BENDO DI KABUPATEN PONOROGO, JAWA TIMUR

Tabel V.15.

Perhitungan Statistik untuk Bendungan untuk bagian Upstream  
sifat bendungan muka air maksimum

No	Luas (m²)	Garis (m)	M = H <sup>2/3</sup> (m)	Smakat alfa	Sin	Cos	T = H <sup>1/2</sup> sin α / K <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	H <sub>1</sub> = H <sub>2</sub> sin α / K <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> = H <sub>1</sub> sin α / K <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	tg	(H <sub>1</sub> -H <sub>2</sub> ) tg	C1=C2 r/360	
1	7,50 10,00 11,25 11,00 155,00	2,85 2,10 2,00 2,03 1,00	21,225 42,000 22,500 10,225 855,000	-19,5	-0,3326	0,9473	-342,410	475,110	-50,310	199,210	0,216	31,707	C1=C2 r/360 =34,9779
2	102,50 14,00 792,00	2,81 2,10 1,00	410,164 21,400 792,000	-10	-0,1736	0,9848	-721,552	1233,578	-35,664	814,842	0,839	348,286	
3	795,00 304,00	2,83 2,00	857,680 704,000	-4,5	-0,0785	0,9989	-121,022	1376,901	-18,113	812,308	0,839	510,011	
4	128,00 116,00	2,81 1,00	11044,080 855,000	2,5	0,0411	0,9990	73,251	1638,400	10,908	850,690	0,839	727,174	
5	421,00 11,00 155,00	2,51 2,83 1,00	1181,110 70,560 855,000	6	0,1045	0,9945	189,980	1307,991	28,497	716,159	0,839	858,651	
6	153,00 11,00 458,00	2,82 2,83 1,00	11381,040 70,560 458,000	11	0,1908	0,9841	367,781	1892,132	35,168	186,597	0,839	756,352	
7	159,00 11,00 159,00	2,81 2,83 1,00	1121,040 70,560 159,000	17	0,2924	0,9563	533,540	1751,539	80,734	611,794	0,839	818,819	
8	155,00 11,00 155,00	2,82 2,83 1,00	1101,000 70,560 155,000	22	0,3746	0,9272	664,650	1645,075	97,655	519,451	0,839	812,556	
9	148,00 10,00 152,00	2,83 2,83 1,00	1107,340 69,360 152,000	28	0,4695	0,8828	727,951	1368,693	109,187	471,175	0,839	661,169	
10	128,00 10,00 154,00	2,81 2,83 1,00	948,050 69,360 154,000	33	0,5446	0,8387	822,245	759,107	93,310	362,466	0,839	621,641	
11	164,00 12,00 16,00 14,00 14,00	2,67 2,83 1,70 2,00 1,00	147,120 90,510 28,000 18,000 81,360	40	0,6428	0,7660	101,517	156,983	82,618	208,977	0,839	306,514	
12	17,50 1,00 19,00 12,50 14,00 14,00	2,83 2,53 2,10 1,70 2,00 1,00	49,525 20,710 42,000 28,560 18,000 81,360	48	0,7193	0,6947	165,054	159,498	24,158		0,268	16,073	
13	792,00	1,00	792,000	-22,5	-0,3883	0,9219	-36,210	731,729	-4,546	965,695	0,839	-34,725	
14	712,00	1,00	712,000	-19	-0,3288	0,9446	-549,178	622,715	-21,777	804,838	0,839	-34,929	
15	568,00	1,00	568,000	-18	-0,3078	0,9509	-533,870	459,512	-20,681	613,103	0,839	-27,750	
16	458,00	1,00	458,000	-15	-0,2629	0,9671	-497,192	333,564	-16,129	437,437	0,839	-11,671	
17	136,00	1,00	136,000	-50	-0,7660	0,6428	-101,176	87,421	-19,626	221,120	0,839	-32,415	
1195,987 17792,185 314,726 1563,910													

C<sub>1</sub> = g.Wala

$$= 0,13317947,185 = 1691,327$$

$$F_s = C_1 \cdot (H - H_0) / (T - T_0) = 34,9779 + (1563,910) / (1195,987 + 1691,327)$$

$$[0,41 > 0,2 \text{ (ok)}]$$

Tabel 4.12.

Perhitungan Stabilitas Tubuh Bendungan untuk bagian Upstream  
dalam keadaan surut air maksimum

No	Luas Alm <sup>2</sup>	Bawa [t/m <sup>3</sup> ]	M = Arl [t/m]	sudut alfa	Sin	Cos	1 + Msin	M + Mcos	M + Msin	12 = u/cos	tg	(M-Mu-U) %	C1 = c2 r/360
1	7,50 20,00 11,25 34,00 835,50	2,83 2,10 2,00 2,83 5,00	21,225 42,000 22,500 96,220 855,500	-19,5	-0,3338	0,9425	-342,460	977,896	-11,349	897,639	0,268	54,727	(C1 = 2,5x2x1,14x80x7/360 = 54,9779)
2	132,00 54,00 792,00	2,83 2,10 5,00	430,160 71,400 792,000	-10	-0,1736	0,9831	-224,562	1271,379	-15,684	864,812	0,839	388,284	
3	296,00 704,00	2,83 1,00	837,130 704,000	-4,1	-0,0716	0,9974	-127,171	1271,379	-16,153	818,538	0,839	518,015	
4	276,00 816,00	2,83 1,00	764,730 816,000	1,3	0,0227	0,9997	127,171	1271,379	16,782	596,890	0,839	727,174	
5	421,00 32,00 534,00	2,83 2,83 1,50	1191,430 90,560 534,000	4	0,0698	0,9976	127,171	1271,379	25,497	726,159	0,839	858,681	
6	488,00 32,00 456,00	2,83 2,83 1,00	1381,040 90,560 456,000	11	0,1915	0,9816	127,171	1271,379	35,248	684,597	0,839	944,752	
7	388,00 32,00 360,00	2,83 2,83 1,00	1131,040 90,560 360,000	17	0,2924	0,9563	127,171	1271,379	50,334	635,784	0,839	958,839	
8	476,00 32,00 444,00	2,83 2,83 1,50	1401,680 90,560 444,000	22	0,3746	0,9272	127,171	1271,379	77,475	559,456	0,839	832,898	
9	448,00 32,00 480,00	2,83 2,83 1,00	1267,640 90,560 480,000	28	0,4675	0,8828	127,171	1271,379	109,187	471,175	0,839	668,489	
10	335,00 32,00 404,00	2,83 2,83 1,00	948,050 90,560 404,000	33	0,5446	0,8387	127,171	1271,379	143,340	362,466	0,839	421,649	
11	244,00 32,00 20,00	2,83 2,83 1,00	747,120 90,560 20,000	40	0,6428	0,7660	127,171	1271,379	182,616	208,877	0,839	306,614	
12	17,50 8,00 20,00 15,00 24,00 34,00	2,83 2,33 2,50 1,30 2,50 1,30	49,525 20,240 42,000 28,500 28,000 81,700	46	0,7193	0,6917	127,171	1271,379	24,758		0,258	35,023	
							3329,712	15707,244	481,457			76707,392	

$$T_r = u \cdot V \sin$$

$$= 0,15815707,244 \times 2356,086$$

$$F_s = C1 \times (M - M_u - U) / (1 - U) = 54,4779 + (6707,392) / (3329,712 + 2356,086)$$

$$1,21 > 1,2 \text{ (ok)}$$

Pertimbangan Stabilitas Tubuh Jendongan untuk bagian Upstream  
dijaga badan turun tiga-tiga sampai kepono

Ko	Long [10°E]	Lat [15°N]	X = R <sub>0</sub> [Ea]	sublat alpha	Stn	Lon	T = Nsin	S = Ncos	M = Nsin	U = v/cos	tg	(N-M-U) tg	Cl=2 r/360
1	15.50 15.50 15.50 15.50	2.83 2.10 2.00 2.83	21,225 42,000 22,500 96,220										
				-19,5	-0,3338	0,9426	-56,893	121,501	-8,534		0,2679	48,232	Cl=2,5x2x3,14x(60x7/360) =56,9779
2	15.50 15.50	2.83 2.83	430,160 96,220		-10	-0,1734	0,9348	-91,380	-510,379	-13,707	0,8391	446,473	
3	15.50	2.83	837,650		-5,5	-0,0795	0,9969	-65,758	835,083	-7,864	0,8391	708,593	
4	15.50	2.83	1144,190		2,5	0,0436	0,999	46,394	1063,016	6,959	0,8391	984,137	
5	15.50 15.50	2.83 2.83	1451,400 96,220			0,1045	0,9943	133,955	1274,939	20,093	0,8391	1052,339	
6	15.50 15.50	2.83 2.83	1758,610 96,220			0,1598	0,9816	280,781	1444,523	42,117	0,8391	1175,758	
7	15.50 15.50	2.83 2.83	2065,820 96,220			0,2151	0,9565	430,296	1407,291	64,544	0,8391	1128,459	
8	15.50 15.50	2.83 2.83	2373,030 96,220			0,2714	0,9272	559,742	1385,459	87,561	0,8391	1092,067	
9	15.50 15.50	2.83 2.83	2680,240 96,220			0,3285	0,8928	637,769	1199,196	95,665	0,8391	925,972	
10	15.50 15.50	2.83 2.83	2987,450 96,220			0,3846	0,8567	565,627	871,067	84,844	0,8391	659,732	
11	15.50 15.50	2.83 2.83	3294,660 96,220			0,4428	0,8166	538,461	641,663	60,769	0,8391	470,646	
12	15.50 15.50 15.50 15.50	2.83 2,36 2,83 2,95	35,185 80,500 16,960 76,000		46	0,7193	0,6947	178,865	172,748	26,830	0,2679	39,091	

$$T_e = e \cdot M \sin \alpha$$

$$= 0,15610984,880 = 1647,731$$

$$F_s = C_s \cdot [X - \text{He} - \text{U}]/[T - \text{Te}] = 54,4779 + (8633,7521) / (164,726 + 319,871)$$

1.01 > 1.2 [ok]

Tabel V 14

Perhitungan Stabilitas Tubuh Bendungan untuk bagian Upstream  
dalam keadaan muka air turun di tengah-tengah

No	luas M <sup>2</sup>	luas (1/2)M <sup>2</sup>	M = AsJ (t/m)	sudut alfa	Sin	Cos	T = Wsin	W = Wcos	Me = Wsin	U = u/cos	tg	(W-Me-U) tg	Ct = 2 r/360
1	7,50 20,00 31,25 34,00 351,50	2,83 2,10 2,00 2,83 1,00	21,225 42,000 22,500 75,220 375,500	-19,3	-0,3338	0,9426	-188,912	544,300	-28,537	424,338	0,268	39,724	CL=2,5x2x3,14x180x7/360 =54,9779
2	152,00 34,00 278,00	2,83 2,10 1,00	430,160 71,400 258,000	-10	-0,1736	0,9848	-138,456	785,437	-20,768	504,605	0,839	253,073	
3	296,00 208,00	2,83 1,00	837,580 208,000	-4,5	-0,0785	0,9969	-82,086	1062,438	-12,313	497,542	0,839	467,554	
4	378,00 120,00	2,83 1,00	1064,080 120,000	2,3	0,0438	0,9950	31,675	1182,876	7,244	495,497	0,839	569,450	
5	421,00 32,00 49,00	2,83 2,00 1,00	1192,100 40,000 8,000	6	0,1042	0,9919	138,177	1215,710	20,722	482,635	0,839	480,797	
6	472,00 15,00 15,00 5,00	2,83 2,00 1,00 0,50	1330,100 40,000 40,000 14,150	11	0,1928	0,9808	271,600	1277,258	40,710	472,698	0,839	741,547	
7	504,00 32,00 184,00	2,83 2,00 1,00	1450,320 40,000 120,720	17	0,2924	0,9553	430,296	1467,271	84,544	418,277	0,839	775,721	
8	110,00 30,00 185,00	2,83 2,00 2,83	577,350 60,000 324,350	22	0,3746	0,9272	559,742	1385,459	83,951	327,869	0,839	816,972	
9	251,00 32,00 187,00	2,83 2,00 1,00	716,350 60,000 557,350	28	0,4695	0,8828	657,765	1195,196	95,165	217,465	0,839	743,497	
10	293,00 32,00 42,00	2,83 2,00 2,83	835,170 60,000 116,860	33	0,5446	0,8387	565,627	671,082	84,844	75,309	0,839	535,702	
11	264,00 32,00	2,83 2,83	747,120 80,560	40	0,6428	0,7660	538,461	641,663	80,759		0,839	470,646	
12	37,50 2,00 20,00 15,00 14,00 34,00	2,83 2,00 2,10 1,90 2,00 1,00	49,375 20,240 42,000 28,500 28,000 61,200	46	0,7193	0,6947	665,054	359,469	24,758		0,268	36,075	
12948,870 11931,180 442,330 6190,866													

$$T = W \sin$$

$$= 0,15811937,188 = 1789,678$$

$$F_s = C + (W-Me-U) \tan \phi / (T-T_c) = 54,4779 + (6190,866) / (2948,870 + 1789,678)$$

$$1,32 > 1,2 \text{ (ok)}$$

- a. Tinggi kenaikan permukaan air disebabkan oleh banjir abnormal ( $\Delta h$ )

$$\Delta h = \frac{2}{3} \frac{\alpha \cdot Q_0}{Q} \frac{h}{1 + \frac{A \cdot h}{Q \cdot T}} \quad [5.9]$$

dimana :

$Q_0$  = debit banjir rencana = 218,568 m<sup>3</sup>/dt

$Q$  = kapasitas rencana bangunan pelimpah untuk banjir abnormal = 557,14 m<sup>3</sup>/dt (diambil dari debit hidrograf banjir PMP, BAB 3.3. tabel 3.30.)

$\alpha$  = 0,2 untuk pelimpah terbuka

$h$  = tinggi air di atas ambang = 3 meter

$A$  = luas permukaan air waduk pada elevasi banjir rencana = 1,386 x 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>

$T$  = durasi terjadinya banjir abnormal = 3 jam (dari bendungan type urugan)

Jadi :

$$\Delta h = \frac{2}{3} \cdot 0,2 \cdot \frac{218,568}{557,14} \cdot \frac{3}{1 + \frac{1,3862 \times 10^6 \cdot 3}{557,14 \cdot 3 \cdot 3600}} = 0,099 \text{ m}$$

- b. Tinggi ombak disebabkan oleh gempa ( $h_e$ )

perumusan :

$$h_e = \frac{e \cdot \tau}{\pi} \sqrt{g \cdot H_0}$$

dimana :

$e$  = intensitas seismic horizontal (0,15)

$\tau$  = siklus seismic (biasanya sekitar 1 detik)

## B A B VI

### ANALISA EKONOMI

#### 6.1. UMUM

Dalam studi pendahuluan bendungan Bendo ini, selain menganalisa besarnya kapasitas yang dapat dibangkitkan oleh PLTA tersebut, juga menganalisa ekonomi proyek.

Benefit tenaga listrik dari proyek berasal dari jumlah kapasitas benefit dan energi benefit, benefit irigasi diperoleh dari peningkatan hasil produksi pertanian. Didalam studi ini benefit irigasi adalah peningkatan pendapatan yang terjadi karena adanya kenaikan pendapatan sebelum dan sesudah ada proyek.

Dalam studi pendahuluan bendungan Bendo ini dipakai beberapa asumsi dalam menyelesaikan analisa ekonomi :

1. Lamanya pembangunan proyek diperkirakan selama 5 tahun, terhitung mulai 1993-1998.
2. Umur bangunan diperkirakan selama 60 tahun sesuai dengan perkiraan secara teknis.
3. Tahapan pembangunan proyek dilakukan dalam 5 tahun tahapan pembayaran, yaitu :
  - pembayaran I sebesar 7 %
  - pembayaran II sebesar 28 %
  - pembayaran III sebesar 28 %

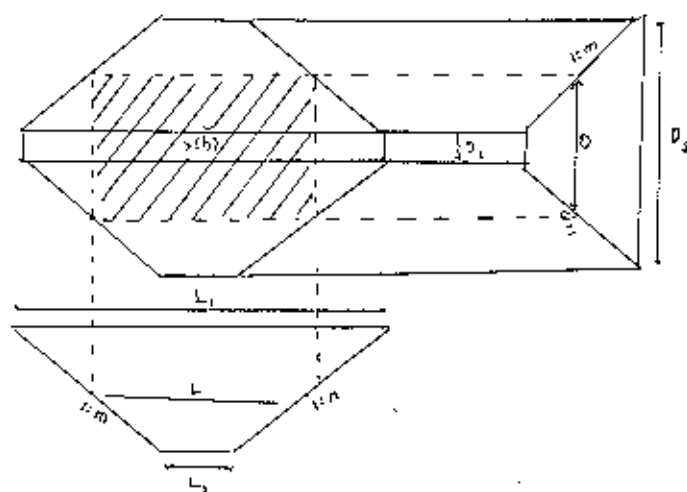


- pembayaran IV sebesar 32 %
- pembayaran V sebesar 5 %

4. Perhitungan benefit cost ratio (BCR) didasarkan pada tahun 1993 yang berasal dari penaksiran harga tetap tahun 1984. Sedangkan untuk penentuan harga konstruksi dipakai perkiraan harga yang telah dibuat oleh Team Hidro Power Study (HPPS). Yang dimaksud tersebut telah dibuat grafik perkiraan biaya konstruksi seperti terlihat pada grafik 6.1.sampai 6.7.

#### 6.2. PERKIRAAN VOLUME BENDUNGAN

Volume bendungan dihitung dengan anggapan bahwa bentuk bendung seperti gambar dibawah ini dan volumenya dihitung dengan pendekatan sebagai berikut :



$$\text{Bendung } S(s) = L \times D$$

$$L(h) = L_1 \times \frac{h}{H_1} + L_2 \times (H_1 - h) / H_1$$

$$D(h) = D_1 \times \frac{h}{H_1} + D_2 \times (H_1 - h) / H_1$$

$$L_1 = L_2 + (m+n) \times H_1$$

Volume dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} V &= \int_0^{H_1} S(h) \, dh \\ &= ( 2L_1D_1 + L_2D_1 + L_1D_2 + 2L_2D_2 ) \times \frac{H_1}{6} \end{aligned}$$

dimana :

$D_2$  = panjang tubuh bendung (m)

$D_1$  = lebar dasar sungai (m)

$D$  = panjang tubuh bendung yang ditinjau (m)

$L_1$  = lebar tubuh bendungan (m)

$L_2$  = lebar mercu bendungan (m)

$L$  = lebar tubuh bendungan yang ditinjau (m)

$H_1$  = tinggi bendungan (m)

$h$  = tinggi bendungan yang ditinjau (m)

jika diketahui :

- lereng bagian hulu = 1 : 3
- lereng bagian hilir = 1 : 2
- panjang bendung ( $D_2$ ) = 350 m
- lebar dasar sungai ( $D_1$ ) = 8 m
- lebar mercu bendungan ( $L_2$ ) = 12 m

maka,

$$\begin{aligned} L_1 &= L_2 + (m+n) H_1 \\ &= 12 + (3+2) H_1 = 12 + 5 H_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_2 &= D_1 + (m+n) H_1 \\ &= 8 + (3+2) H_1 = 8 + 5 H_1 \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned} V &= [ 2(12+5H_1)(8) + (12)(8) + (12+5H_1)(8+5H_1) \\ &\quad + 2(12)(8+5H_1) ] H_1/6 \\ &= [ 25 H_1^2 + 300 H_1 + 576 ] H_1/6 \end{aligned}$$

Perhitungan volume bendungan terhadap masing-masing elevasi dapat diperlihatkan pada tabel VI.1.

Tabel VI.1.

Perhitungan hubungan elevasi dan volume bendungan

No	Elevasi	$H_1$ (m)	Volume $\times 10^3$ (m <sup>3</sup> )
1	+ 170	20	55.253
2	+ 190	40	350.507
3	+ 210	60	1085.760
4	+ 230	80	2461.013
5	+ 250	100	4676.257

Elevasi untuk bendungan bendo yaitu pada elevasi + 216,00 meter, dengan cara interpolasi dapat diketahui volume timbunan sebesar  $1.422.000 \times 10^3 \text{ m}^3$ .

#### Perhitungan volume cofferdam

- elevasi mercu cofferdam = + 157,00

- lebar mercu ( $L_2$ ) = 6 m
- kemiringan lereng hulu = 1 : 3
- kemiringan lereng hilir = 1 : 2
- lebar dasar sungai ( $D_1$ ) = 8 m

sehingga :

$$\begin{aligned}
 D_2 &= D_1 + (m+n) H_1 \\
 &= 8 + (3+2) H_1 = 8 + 5 H_1 \\
 L_1 &= L_2 + (m+n) H_1 \\
 &= 6 + 5(3+2) H_1 = 6 + 5 H_1
 \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned}
 V &= [ 2(6+5H_1)(8) + (6)(3) + (6+5H_1)(8+5H_1) \\
 &\quad + 2(6)(8+5H_1) ] H_1/6 \\
 &= [ 288 + 210 H_1 + 25 H_1^2 ] H_1/6
 \end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut dapat ditentukan volume cofferdam dengan tinggi 7 meter, yaitu :

$$\begin{aligned}
 V &= [ 288 + 210 \times 7 + 25 \times 7^2 ] 7/6 \\
 &= 3480 \text{ m}^3 \\
 &= 3,480 \times 10^3 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

### 6.3. PERKIRAAN HUBUNGAN ANTARA VOLUME PEKERJAAN DAN BIAYA KONSTRUKSI

#### 6.3.1. Intake

Dipilih type intake yang disesuaikan dengan kondisi lapangan yaitu intake pressure type, dimana

perkiraan biaya dapat dilihat pada grafik 6.1.(a).

$$CIP = 25 \times 10^3 \times A^{1,28}$$

dimana :

CIP = biaya pressure type intake (US \$ )

A =  $(H_a + D)^{1/2} \times Q_p^{1/2} \times N^{1/3}$

H<sub>a</sub> = tinggi penurunan muka air dalam tampungan (m)

= elv spillway - elv MOL

= 209 - 161,25 = 47,75 m

D = diameter pipa = 2 m

N = jumlah saluran pengangkut

Q<sub>p</sub> = debit pembangkit = 6,24 m<sup>3</sup>/dt.

$$\begin{aligned} A &= (47,75 + 2)^{1/2} \times 6,24^{1/2} \times 1^{1/3} \\ &= 17,62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CIP &= 25 \times 10^3 \times 17,62^{1,28} \\ &= \text{US \$ } 0,984 \times 10^6 \end{aligned}$$

### 6.3.2. Penstock

Penstock terdiri dari pipanya sendiri dan steel liners, yang biaya pipanya diperkirakan dengan grafik 6.2.(a).

$$UCM = 790 \times (DIAP)^{1,66}$$

$$UCM_1 = UCM \times Lpt \times N$$

dimana :

UCM = biaya permeter pipa pesat (US \$)

DIAP = diameter pipa pesat (m) = 1,70 m

UCM<sub>1</sub> = biaya pipa pesat (US \$)

Lpt = panjang pipa pesat, diperkirakan 140 m

N = jumlah pipa pesat = 1 buah

$$UCM = 790 \times 1,7^{1,66}$$

$$= \text{US \$ } 1906,22/\text{m}$$

$$UCM_1 = 1906,22 \times 140 \times 1$$

$$= \text{US \$ } 0,26 \times 10^6$$

Sedangkan untuk steel liners biayanya diperkirakan dengan menggunakan grafik 6.2.(b).

$$CPS = UC_2 \times WT$$

$$CPS_1 = CPS \times Lpt \times N$$

dimana :

CPS = biaya dari steel liners (US \$)

UC<sub>2</sub> = unit perton = US \$ 4000

WT = berat dari steel liners (ton)

$$= 0,5 \text{ ton/m}$$

CPS<sub>1</sub> = biaya steel liners (US \$)

Lpt = panjang pipa pesat (m)

$$CPS = 4000 \times 0,5 = \text{US \$ } 2000/\text{m}$$

$$CPS_1 = 2000 \times 140 \times 1$$

$$= \text{US \$ } 0,28 \times 10^6$$

Jadi biaya total pipa pesat (Penstock) :

$$= UCM_1 + CPS_1$$

$$= \text{US \$ } (0,27 + 0,28) \times 10^6$$

$$= \text{US \$ } 0,55 \times 10^6$$

### 6.3.3. Power House

Bangunan dari power house ini terdiri dari bagian sub struktur atau bagian pondasi dan super struktur yaitu bagian diatas sub struktur.

Biaya sub struktur dan super struktur untuk power house diperhitungkan dengan perkiraan seperti pada grafik 6.3.1a).

$$\text{CHP} = \text{CHP}_1 + \text{CHP}_2$$

$$\text{CHP}_1 = 4,6 \times 10^3 \times (P/\text{Hn}^{0,5})^{0,7}$$

$$\text{CHP}_2 = 3,7 \times 10^3 \times (Qp/\text{Hn}^{2/3} \times N^{1/2})$$

dimana :

CHP = perkiraan seluruh biaya dari power house (US \$)

CHP<sub>1</sub> = perkiraan biaya dari bangunan super struktur

CHP<sub>2</sub> = perkiraan biaya dari bangunan sub struktur

P = kapasitas terpasang = 2069,97 kw

Hn = tinggi jatuh netto = 39,36 m

Qp = debit pembangkit = 6,24 m<sup>3</sup>/dt

N = jumlah unit = 1

$$\text{CHP}_1 = 4,6 \times 10^3 \times (2069,97/39,36)^{0,7}$$

$$= \text{US \$ } 0,266 \times 10^6$$

$$\begin{aligned}\text{CHP}_2 &= 3,7 \times 10^3 \times [(6,24/39,36^{2/3}) \times 1^{1/2}]^{0,95} \\ &= \text{US \$ } 0,00206 \times 10^6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CHP} &= \text{CHP}_1 + \text{CHP}_2 \\ &= \text{US \$ } (0,266 + 0,00206) \times 10^6 \\ &= \text{US \$ } 0,2681 \times 10^6\end{aligned}$$

#### 6.3.4. Power Equipment (Peralatan Pembangkit)

Diperkirakan dengan menggunakan grafik 6.3.(b).

$$\text{CPE} = 16 \times 10^3 \times (P/H_n^{0,5})^{0,82}$$

dimana :

CPE = biaya peralatan pembangkit (US \$)

P = kapasitas terpasang = 2069,97 kw

H<sub>n</sub> = tinggi jatuh netto = 39,36 m

$$\begin{aligned}\text{CPE} &= 16 \times 10^3 \times (2069,97/39,36^{0,5})^{0,82} \\ &= \text{US \$ } 1,859 \times 10^6\end{aligned}$$

#### 6.3.5. Surge Tank

Biaya surge tank diperkirakan dengan menggunakan grafik 6.4.(b).

$$\text{UCST} = 6,2 \times 10^3 \times Q_p \times (H_a + L_t)^{1/4} \times 0,88 \times N$$

dimana :

CST = biaya surge tank (US \$)

Q<sub>P</sub> = debit pembangkit = 6,24 m<sup>3</sup>/dt

H<sub>a</sub> = tinggi penurunan muka air waduk = 47,75 m



Lt = panjang head race = 200 m

N = jumlah surge tank = 1

$$\begin{aligned} \text{CST} &= 6,2 \times 10^3 \times 6,24 \times (47,75 \times 200)^{1/4 \times 0,99} \\ &= \text{US \$ } 0,479 \times 10^6 \end{aligned}$$

#### 6.3.6. Head Race

Biaya head race tunnel diperkirakan dengan menggunakan grafik 6.4.(a).

$$\text{UCHT} = 810 \times \text{DIAT}^{1,42}$$

$$\text{CHT} = \text{UCHT} \times \text{LHT} \times N$$

dimana :

UCHT = biaya head race tunnel permeter (US \$)

CHT = biaya head race tunnel (US \$)

DIAT = diameter head race tunnel = 2,10 m

LHT = panjang head race tunnel = 200 m

N = jumlah head race tunnel = 1

$$\text{UCHT} = 810 \times 2,10^{1,42}$$

$$= \text{US \$ } 2,340 \times 10^3/\text{m}$$

$$\text{UHT} = 2,340 \times 10^3 \times 200 \times 1$$

$$= \text{US \$ } 0,468 \times 10^9$$

### 6.3.7. Biaya Pembebasan Tanah

$$\text{Pembebasan tanah} = 1,06 \times \text{RA} \times \text{UPHA}$$

dimana :

$$\text{RA} = \text{reservoar area} = 3,615 \text{ km}^2 = 361,5 \text{ Ha}$$

$$\text{UPHA} = \text{unit price per Ha} = \text{US \$ } 5000/\text{Ha}$$

$$\begin{aligned} \text{Pembebasan tanah} &= 1,06 \times 361,5 \times 5000 \\ &= \text{US \$ } 1,9159 \times 10^6 \end{aligned}$$

### 6.3.8. Bendungan dan Cofferdam

Dengan puncak bendungan yang mempunyai elevasi + 216 sehingga besarnya volume bendungan dapat diketahui pada tabel VI.1. Untuk memperkirakan biaya konstruksi dari bendungan dapat dipakai grafik 6.5.

$$\text{CDM} = 100 \times \text{VD}^{0,9}$$

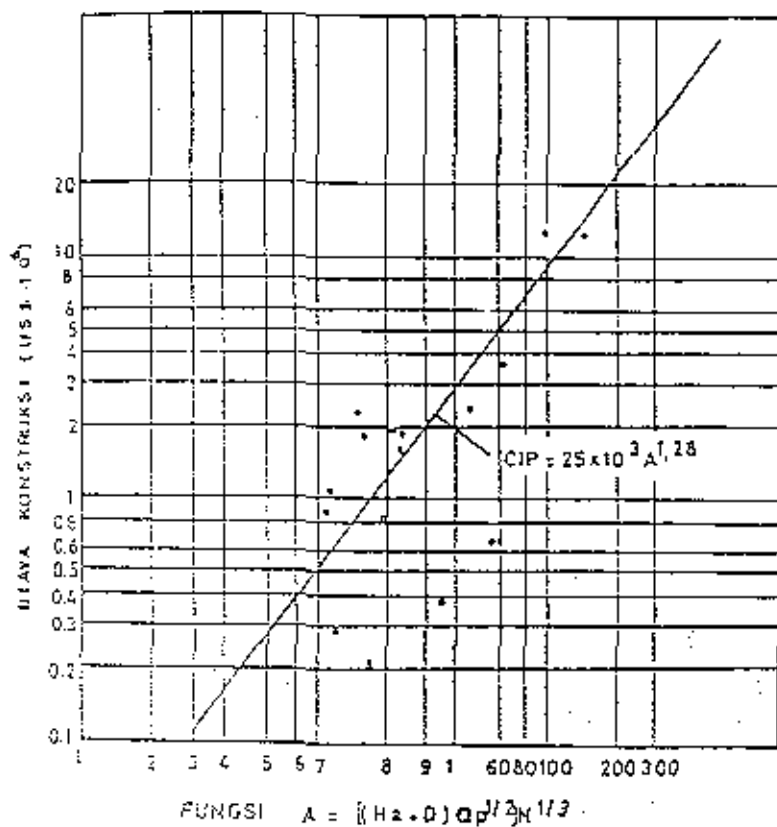
dimana :

$$\text{CDM} = \text{biaya bendungan urugan, termasuk pekerjaan pembuatannya (US \$)}$$

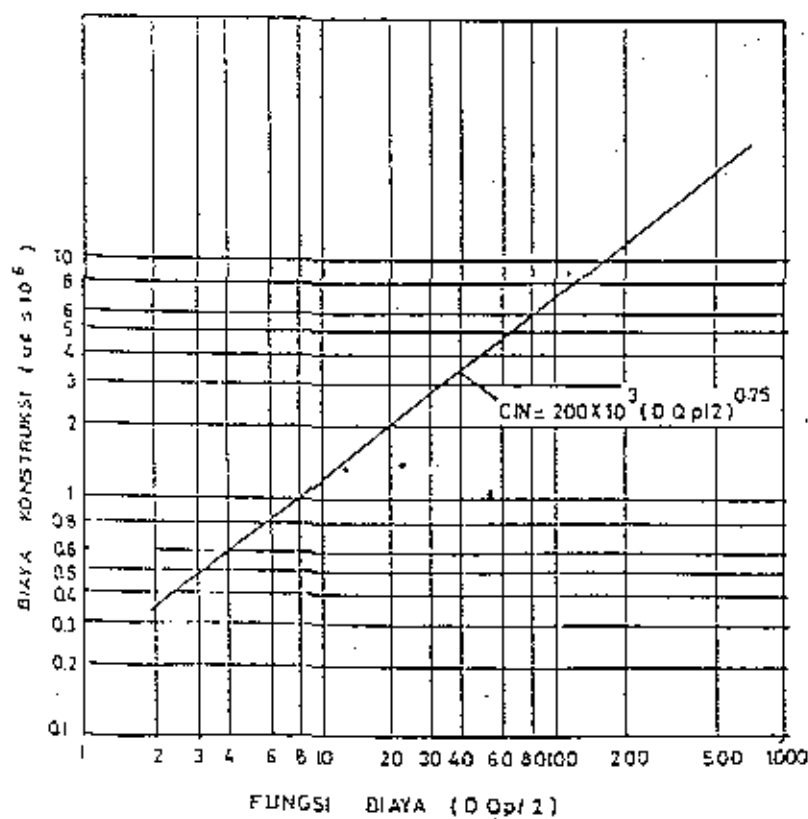
$$\begin{aligned} \text{VD} &= \text{volume bendungan (m}^3\text{)} \\ &= (1422 + 3,480) \times 10^3 \text{ m}^3 \\ &= 1425,48 \times 10^3 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CDM} &= 100 \times (1425,48 \times 10^3)^{0,9} \\ &= \text{US \$ } 34,56 \times 10^6 \end{aligned}$$

GRAFIK 6.1.

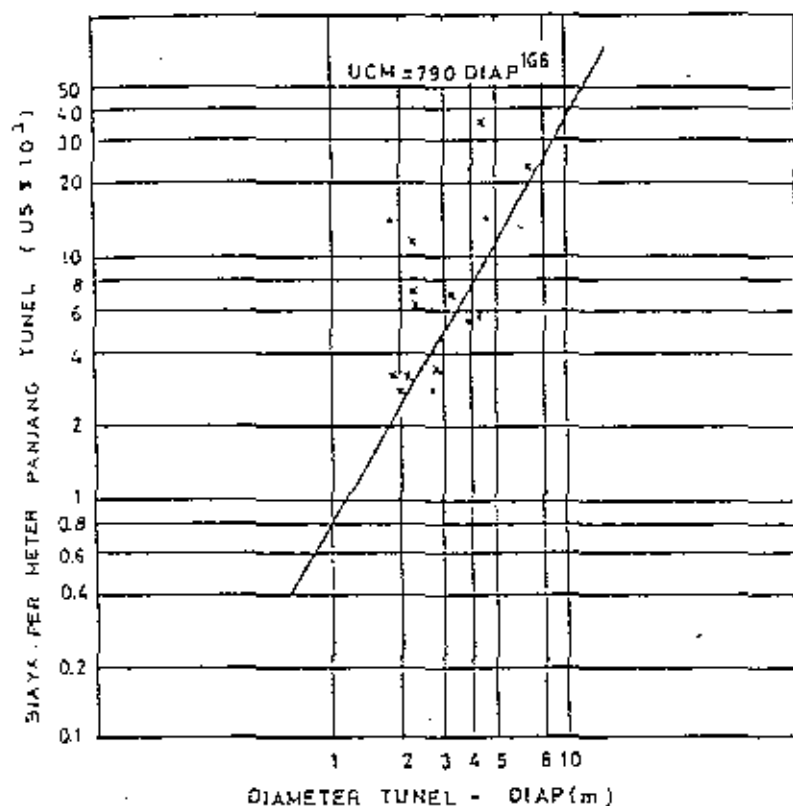


(a) Intake Pressure Type

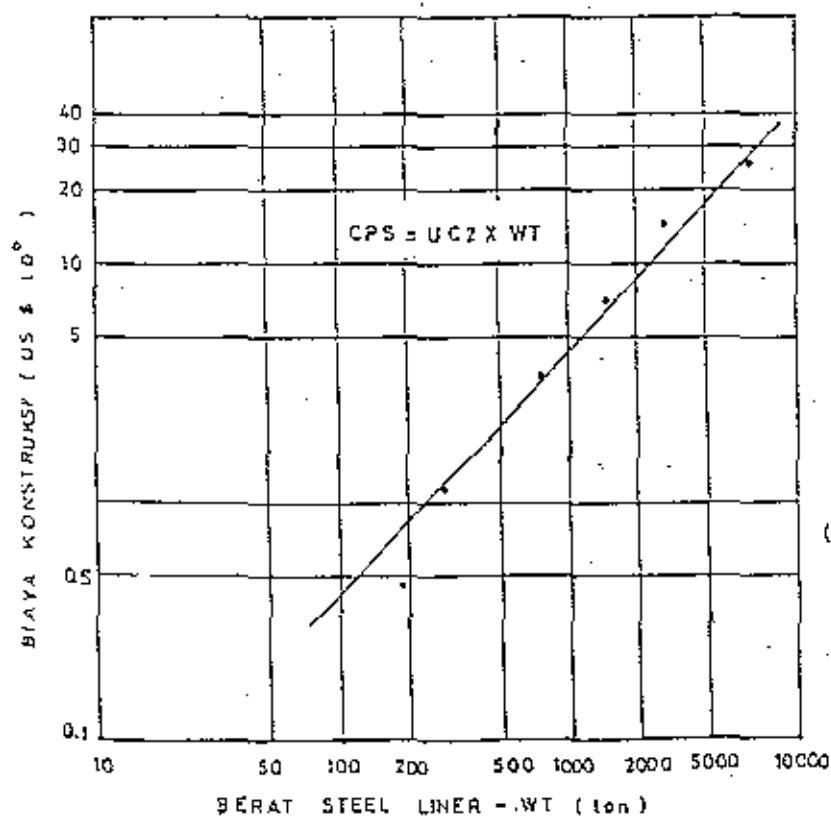


(b) Intake non Pressure Type (masuk sand trap basin)

GRAFIK 6.2.

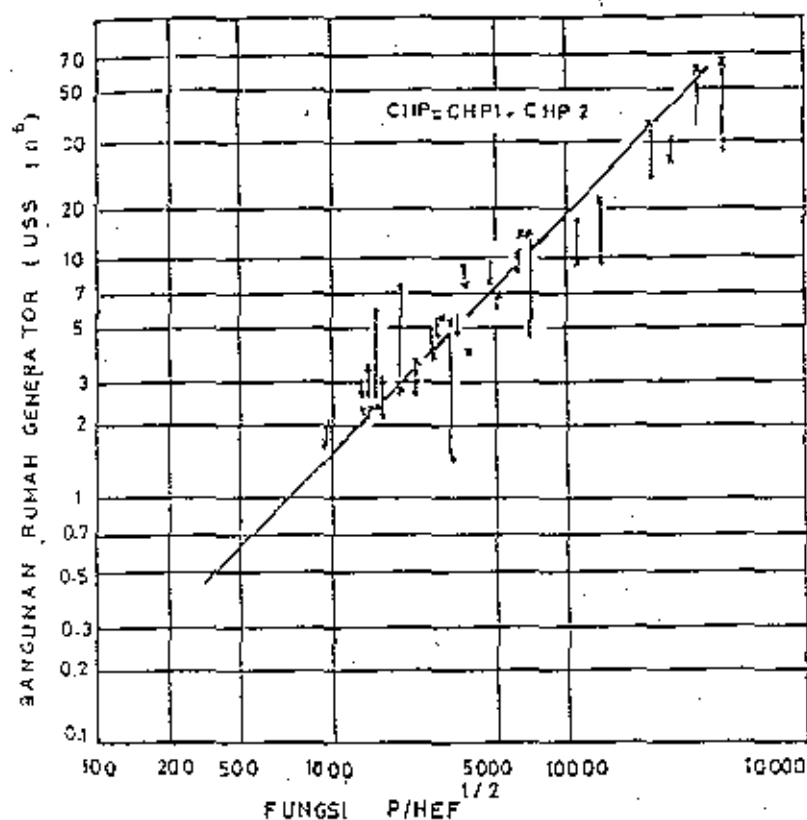


(a) Pressure-shaft

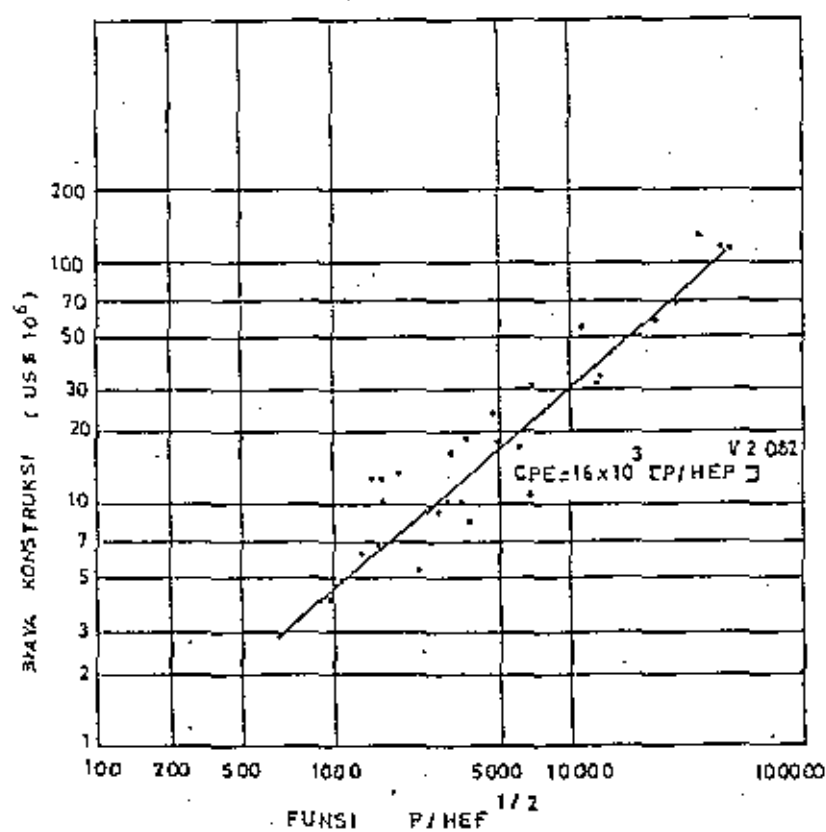


(b) Steel liners

GRAFIK 6.3.

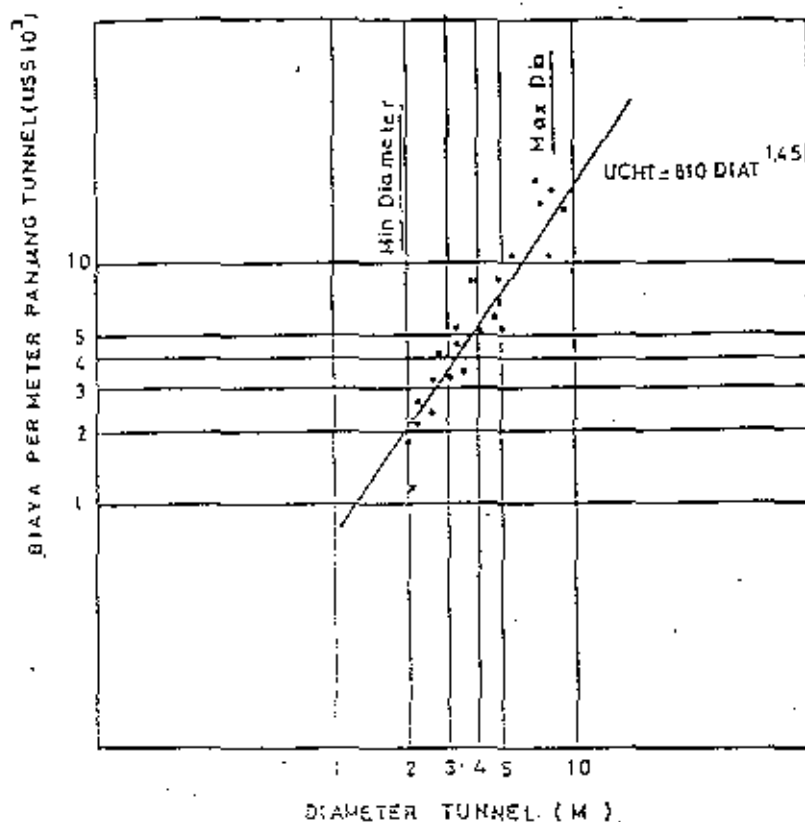


(a) Pekerjaan sipit  
power house  
termasuk sus  
structure

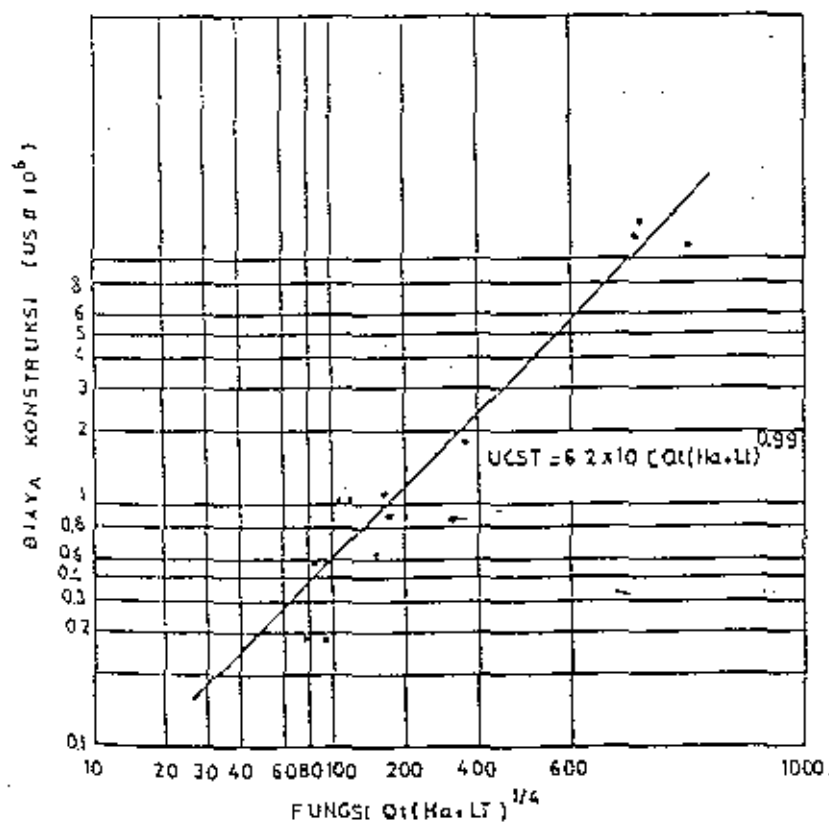


(b) Peralatan  
Pembangkitan

GRAFIK 6.4.

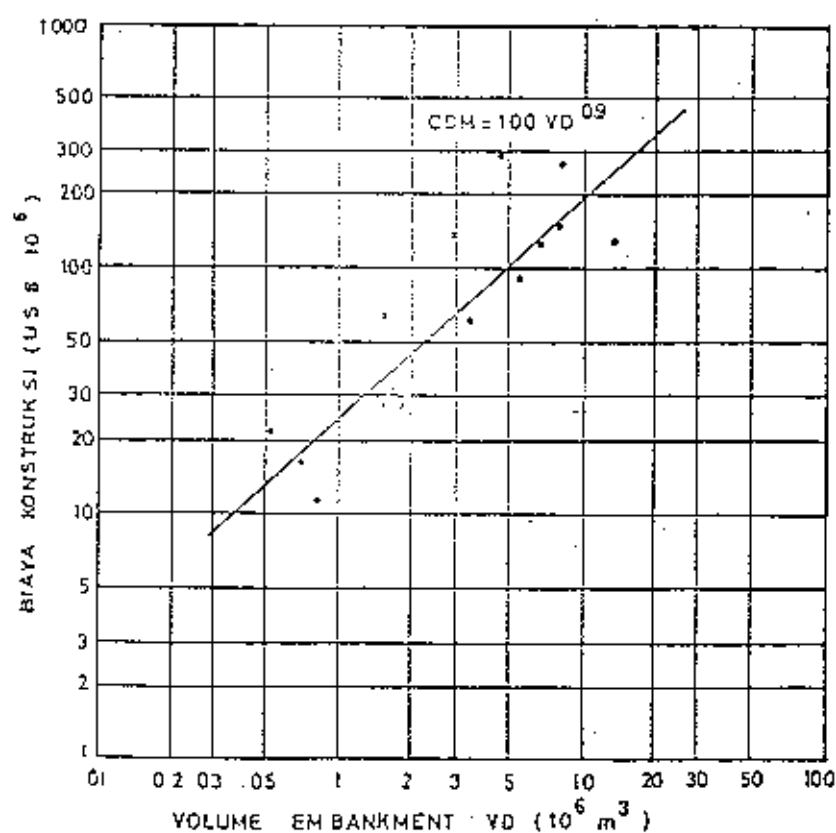


(a) Pipa pengaku  
untuk aliran  
tekan



(b) Surge tank

GRAFIK 6.5



(1) Bendungan  
unggun

Dari perhitungan biaya konstruksi tersebut diatas, maka dapat dibuat tabel rekapitulasi secara keseluruhan, untuk mengetahui perincian secara jelas dapat dilihat pada tabel VI.2.

Tabel VI.2,

Rekapitulasi biaya proyek

No	Jenis pekerjaan	Biaya (US \$ x 10 <sup>6</sup> )
1	Intake	0,9840
2	Penstock	0,5500
3	Power House	0,2681
4	Power Equipment	1,8590
5	Head Race Tunnel	0,4680
6	Surge Tank	0,4790
7	Bendungan & Cofferdam	34,5600
8	Pembebasan tanah	1,9159
9	Spillway	1,1960
10	Diversion Tunnel	3,1600
11	Prasarana	0,9870
-	Sub total	46,4270
-	Engineering/Adm. 10%	4,6427
-	Pengeluaran tak terduga / biaya penyimpangan, 15%	6,9641
-	Biaya total pembangunan	58,0338



- Pemeliharaan tahunan =  $0,2\% \times \text{biaya konstruksi}$   
=  $0,2\% \times 58,0338$   
= US \$  $0,1161 \times 10^6$
- Biaya lain-lain =  $10\% \times \text{biaya pemeliharaan}$   
=  $10\% \times 0,1161 \times 10^6$   
= US \$  $0,01161 \times 10^6$

Jadi total biaya operasi dan maintenance pertahunnya :

$$= \text{US \$ } (0,1161 + 0,01161) \times 10^6$$

$$= \text{US \$ } 0,1277 \times 10^6$$

#### 6.4. ANALISA KEUNTUNGAN PROYEK

##### 6.4.1. ANALISA PENGOLAHAN IRIGASI

Pengolahan daerah irigasi dilokasi proyek masih menggunakan tradisi lama yaitu pengoperasian tanah sebelum bercocok tanam masih banyak dilakukan dengan tenaga manusia dan binatang. Pengadaan sarana pertanian seperti bibit unggul, pupuk urea, TSP dan obat-obatan umumnya para petani selalu berhubungan dengan BUUD/KUD setempat untuk, mendapatkannya melalui kredit Bimas dan Inmas.

Hasil produksi yang direncanakan setelah setelah selesainya proyek tersebut diharapkan akan meningkat dari 4 ton/ha menjadi 6,5 ton/ha untuk padi, 0,9 ton/ha menjadi 2,75 ton/ha untuk jagung, 0,7 ton/ha menjadi

2.5 ton/ha untuk kacang tanah dan untuk kedelai dari 0,85 ton/ha menjadi 1,5 ton/ha. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel VI.3.dan tabel VI.4.

Tabel VI.3.

Keadaan daerah sebelum ada bendungan

jenis tanaman	luas daerah (Ha)	hasil produksi perHa
Padi	2158	4
Jagung	880	0,9
Kacang tanah	880	0,7
kedelai	880	0,85

Tabel VI.4

Keadaan daerah setelah ada bendungan

jenis tanaman	luas daerah (Ha)	hasil produksi perHa
Padi	3400	6,5
Jagung	1700	2,75
Kacang tanah	1700	2,5
kedelai	1700	1,5

Dengan hasil tersebut, berarti penduduk telah berhasil menaikkan hasil produksinya. Kenaikan hasil produksi tersebut memungkinkan untuk dapat dicapai, karena :

1. Adanya fasilitas irigasi yang memadai dan baik.
2. Pemakaian pupuk dan obat-obatan lebih intensip.
3. Pemakaian bibit unggul yang tahan terhadap hama wereng.
4. Adanya program pemerintah untuk meningkatkan

hasil produksi pertanian yang semakin mendapat perhatian serius melalui Bimas, Inmas dan Insus dalam rangka menggalakkan swasembada pangan.

5. Adanya petugas PPL yang benar-benar menjalankan fungsinya dengan baik.

#### 6.5.1.1. Perhitungan Biaya Pengolahan

##### UNTUK PADI :

Biaya total untuk pengolahan sawah untuk tanaman padi dimana telah termasuk didalamnya pemakaian pupuk yang akan dilaksanakan sesuai dengan tingkat umur tanaman padi, sedangkan obat-obatan hanya akan dilaksanakan sekali dalam periode tanam, kecuali keadaan khusus, sebesar Rp 490.270,- (Tabel VI.5.dan Tabel VI.6.). Dengan produksi tanaman padi yang diharapkan sebesar 6,5 ton/ha, dalam 1 tahun bisa 2x tanam padi, yaitu padi 1 dan padi 2.

Biaya dalam 1 tahun =  $2 \times \text{Rp } 490.270 = \text{Rp } 980.540/\text{Ha}$

Biaya pengolahan sawah seluas 3400 hektar sebesar :

=  $\text{Rp } 980.540/\text{Ha} \times 3400 \text{ Ha} = \text{Rp } 3333,836 \times 10^6$

Tabel 10. 5. Harga pengalihan setiap unit bendungan

Tipe	Benda		Kedua		jumlah bendu maka	jumlah bendu maka	jumlah bendu maka	jumlah bendu maka	jumlah bendu maka	jumlah bendu maka	jumlah bendu maka	jumlah bendu maka
	jumlah bendu	harga	jumlah bendu	harga	jumlah bendu	jumlah bendu	jumlah bendu	jumlah bendu	jumlah bendu	jumlah bendu	jumlah bendu	jumlah bendu
Benda (kg/ha)	40	200	11200	30	600	18000	20	600	12000	30	600	18000
Benda (kg/ha)	175	300	52500	20	300	6000	30	300	9000	30	300	9000
... ..	110	250	27500	50	250	12500	30	250	7500	25	250	6250
-150	2	5500	11000	1.1	5000	5500	1	5000	5000	0.5	5500	2750
pentasada (kg/ha)	20	2000	40000	0	2000							
Sama bendu	60	5000	30000	13	1500	19500	10	1500	15000	20	1500	30000
pentasada	300	3500	105000	25	1500	37500	10	1500	15000	40	1500	60000
pentasada	10	5500	55000	12	1500	18000	10	1500	15000	20	1500	30000
I u t a l		482700			137450				100000			200000

Tabel III.4. Biaya Sempulahan Bangkai

ITEM	Padi			Kacang Tanah			Jagung			Kacang Tanah		
	Jumlah	Harga	biaya	Jumlah	Harga	biaya	Jumlah	Harga	biaya	Jumlah	Harga	biaya
		Rp	1000 Rp		Rp	1000 Rp		Rp	1000 Rp		Rp	1000 Rp
Berth (kg/Ha)	35	250	8800	30	500	15000	20	500	10000	72	350	25200
Pupuk (kg/Ha)												
- urea	200	300	60000	20	200	4000	75	300	22500	40	300	12000
-TSP	115	250	28750	75	250	18750	50	250	12500	75	250	18750
Pestisida (l./Ha)	4	5500	22000	2	5500	11000	2	5500	11000	1.5	5500	8250
Benak hewan	20	2000	40000	0	2000							
Usah buruh/Ha												
-sawah	65	1500	97500	15	1500	22500	15	1500	22500	10	1500	15000
-tanaman	110	1500	165000	30	1500	45000	20	1500	30000	10	1500	15000
-panen	45	1500	67500	15	1500	22500	15	1500	22500	10	1500	15000
<b>Jumlah</b>			<b>490550</b>			<b>145750</b>			<b>100000</b>			<b>287750</b>

UNTUK POLOWIJO

## 1. Jagung

Biaya pengolahan jagung, dimana jenis jagung yang ditanam adalah jenis unggul sebesar Rp 133.000/Ha (Tabel VI.5 dan Tabel VI.6.) dengan produksi jagung sebesar 2,75 ton/Ha yang ditanam 1x dalam setahun.

Jadi biaya pengolahan seluas 1700 Ha adalah :

$$= \text{Rp } 133.000/\text{Ha} \times 1700 \text{ Ha}$$

$$= \text{Rp } 226.1 \times 10^6$$

## 2. Kacang Tanah

Biaya penggarapan untuk jenis tanaman kacang tanah sebesar Rp 237.750/Ha, dengan produksi yang diharapkan 1,5 ton/Ha. Dimana jenis kacang tanah ini tidak tahan terhadap penyakit atau hama, sehingga untuk dapat tumbuh sangat kecil. Tanaman kacang tanah ini ditanam 1 tahun sekali, sehingga besarnya biaya pengolahan sebesar = Rp 237,750/Ha x 1700 Ha

$$= \text{Rp } 404.175 \times 10^6$$

## 3. Kedelai

Biaya pengolahan untuk tanaman kedelai bisa menghabiskan biaya sebesar Rp 143.750/Ha (Tabel VI.5 dan Tabel VI.6 ), luas lahan yang direncanakan

1700 Ha.

$$\begin{aligned}\text{Jadi biaya pengolahan} &= \text{Rp } 143.750/\text{Ha} \times 1700 \text{ Ha} \\ &= \text{Rp } 244.375 \times 10^6\end{aligned}$$

Biaya pengolahan tersebut sudah termasuk segala keperluan pemupukan dan pengobatan termasuk tenaga kerjanya, tetapi belum termasuk biaya pembuatan sarana irigasi. Biaya sarana irigasi diperkirakan Rp 400.000/Ha, sehingga biaya yang dikeluarkan untuk sarana irigasi =  $\text{Rp } 400.000/\text{Ha} \times 3400 \text{ Ha}$   
 $= \text{Rp } 1360 \times 10^6$

#### 6.4.1.2. Benefit Irigasi

##### UNTUK PADI

Dari hasil produksi padi yang diharapkan yaitu 6.5 ton/Ha, diperkirakan harga jual padi 1 dan padi 2 berbeda yaitu :

$$\text{Padi 1} = \text{Rp } 400.000 / \text{ton}$$

$$\text{Padi 2} = \text{Rp } 450.000 / \text{ton}$$

$$\begin{aligned}\text{Harga jual padi 1} &= \text{Rp } 400.000/\text{t} \times 6,5 \text{ t/Ha} \times 3400 \text{ Ha} \\ &= \text{Rp } 8840 \times 10^6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Harga jual padi 2} &= \text{Rp } 440.000/\text{t} \times 6,5 \text{ t/Ha} \times 3400 \text{ Ha} \\ &= \text{Rp } 9945 \times 10^6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jadi harga jual padi} &= \text{Rp } (8840 + 9945) \times 10^6 \\ &= \text{Rp } 18685 \times 10^6\end{aligned}$$

UNTUK POLOWIJO

## 1. Jagung

Produksi jagung yang diharapkan sebesar 2,75 ton/Ha dan harga jual jagung = Rp 300.000/t.

$$\begin{aligned}\text{Jadi harga jual jagung} &= \text{Rp } 300.000 \times 2,75 \text{ t/Ha} \times 1700 \\ &= \text{Rp } 1402,5 \times 10^6\end{aligned}$$

## 2. Kacang Tanah

Produksi kacang tanah yang diharapkan sebesar 2,5 ton/Ha dan harga jual kacang tanah sebesar Rp 1.500.000/t.

$$\begin{aligned}\text{Jadi harga jualnya} &= \text{Rp } 1.500.000/\text{t} \times 2,5 \text{ t/Ha} \times 1700 \text{ Ha} \\ &= \text{Rp } 6375 \times 10^6\end{aligned}$$

## 3. Kedelai

Produksi kedelai yang diharapkan sebesar 1,5 ton/Ha dan harga jual kedelai sebesar Rp 1.020.000 /t.

$$\begin{aligned}\text{Jadi harga jualnya} &= \text{Rp } 1.020.000/\text{t} \times 1,5 \text{ t/Ha} \times 1700 \text{ Ha} \\ &= \text{Rp } 2601 \times 10^6\end{aligned}$$

Tabel VI.7.

Harga jual produksi pertanian

Keterangan	Harga
- harga jual padi	Rp 18785 $\times 10^6$
- harga jual jagung	Rp 1402,5 $\times 10^6$
- harga jual kacang tanah	Rp 6375 $\times 10^6$
- harga jual kedelai	Rp 2601 $\times 10^6$



Dari perhitungan benefit irigasi seperti diatas, maka dapat diketahui keuntungan yang diperoleh dari hasil jual masing-masing tanaman. Untuk memperhitungan keuntungan dari harga jual produksi pertanian tersebut ditinjau pada 2 kondisi, terdiri dari :kondisi terjelek yaitu kondisi yang menghasilkan keuntungan yang paling kecil yang terdiri dari tanaman padi + jagung sebesar Rp 20187,5 x 10<sup>6</sup> dan kondisi terbaik yaitu kondisi yang menghasilkan keuntungan yang besar terdiri dari tanaman padi + kacang tanah sebesar Rp 25160 x 10<sup>6</sup> dari tabel VI.7.

Biaya operasi dan pemeliharaan (O & M) diambil 5 % dari biaya pengolahan keseluruhan.

$$\begin{aligned}\text{Biaya pengolahan keseluruhan} &= \text{Rp } (3333,836 + 226,11 + \\ &\quad 404,175 + 244,375 + 1360) \\ &\quad \times 10^6 \\ &= \text{Rp } 5568,496 \times 10^6\end{aligned}$$

Tabel VI.8.

Hasil Keuntungan Dari Irigasi

N0	Keterangan	Padi+jagung (Rp x 10 <sup>6</sup> )	Padi+kac.tanah (Rp x 10 <sup>6</sup> )
1	Biaya pengolahan	5.568,496	5.568,496
2	Biaya O & M	278,425	278,425
3	keuntungan harga jual	20.187,500	25.160,000
4	Keuntungan kotor ( 3 - 1 )	14.619,009	19.591,504
5	keuntungan bersih ( 4 - 2 )	14.340,580	19.313,079
6	Keuntungan bersih	7,1703x 10 <sup>6</sup> (US \$ )	9,6565x 10 <sup>6</sup> ( US \$ )

## 6.4.2. Analisa Keuntungan Dari PLTA

Pada analisa keuntungan dari listrik yang dihasilkan, diperkirakan dari harga jual energi setiap tahunnya dan sebagai dasar tahun perhitungannya diambil pada akhir 1993. Untuk memperhitungkan keuntungannya (B/C) ditinjau dengan dasar harga satuan penjualan energi listrik, yaitu dipakai PLTU Gresik sebagai pembanding.

Perhitungan harga listrik dengan PLTU Gresik sebagai pembanding

Untuk memperkirakan harga jual listrik bendungan Bendo, dipakai PLTU Gresik sebagai pembanding.

PLTU Gresik tersebut mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- kapasitas terpasang       = 100 Mw
- umur ekonomis             = 20 tahun
- bahan bakar               = residu

PLTU Gresik dalam perhitungan perencanaan dibangun pada tahun 1976 dengan demikian biaya konstruksi juga dihitung pada tingkat harga tahun itu juga. Pada awal perhitungan PLTU Gresik nilai dolar AS terhadap rupiah adalah US \$ 1 = Rp 415,-.

Biaya tersebut dipergunakan untuk escalation rate sebesar 30 % selama selang waktu 2 tahun dari tahun 1976 samapi 1978 dengan anggapan bahwa tahun 1978 sebagai tahun awal pembangunan proyek. Besarnya biaya konstruksi selama pelaksanaan pembangunan proyek PLTU Gresik terlampir pada tabel VI.9.

Tabel VI.9.

Biaya pembangunan PLTU Gresik untuk tingkat harga tahun 1978

Tahap	pengeluaran tahunan (US \$)	Discount fakt interest rate $i = 12 \%$	harga tingkat tahun 1978 (US \$)
1	26.107.116	1,89286	23.310.000
2	29.615.072	0,79179	23.441.000
3	62.047.200	0,71179	44.166.000
4	12.542.288	0,63553	7.971.000
5	336.329	0,66790	191.000
present worth total	116.463.000		99.079.000
unit cost total	1.164,63 (US \$/Kw)		990,79 (US \$/Kw)

Dalam menghitung biaya konstruksi bendungan Bendo dihitung dengan tingkat harga tahun 1993. Dengan demikian harga penjualan listrik dari PLTU Gresik harus dihitung pada tingkat harga tahun 1993. Untuk maksud tersebut maka biaya pembangunan PLTU Gresik di bawa ketingkat tahun 1993.

Dalam hal ini escalation rate diperhitungkan sebesar 15 % pertahun. Pada tabel VI.10 adalah hasil perhitungan konstruksi PLTU Gresik pada tingkat tahun 1991 dan nilai US \$ 1 - Rp 2000.

Tabel VI.10.

Biaya pembangunan PLTU Gresik untuk tingkat harga tahun 1993 :

Tahap	pengeluaran tahunan (US \$)	Discount fakt interest rate $i = 12\%$	harga tingkat tahun 1978 (US \$)
1	212.435.215	0,89286	189.574.906
2	240.890.869	0,79179	190.734.981
3	504.888.138	0,71179	359.374.328
4	101.978.217	0,63553	64.310.216
5	2.732.231	0,56790	1.551.534
present worth total		947.593.371	806.145.635
unit cost total		9475,934 (US \$.Kw)	8061,456 (US \$/Kw)

Dalam menghitung keuntungan suatu PLTA diperoleh beberapa asumsi yang perlu diperhatikan :

1. Pendapatan ekonomi
2. Faktor penyesuaian

Tabel VI.11:  
Assumsi-assumsi antara PLTA dan PLTU

No	Faktor kehilangan	PLTA	PLTU
1	kehilanganan pada stasiun primer	4 %	2 %
2	tenaga yang keluar	0,5 %	5 %
3	perbaikan	2 %	20 %
4	penggunaan daya tambahan	0,5 %	20 %

Faktor penyesuaian kapasitas :

$$= \frac{(1-0,04) (1-0,005) (1-0,02) (1-0,005)}{(1-0,02) (1-0,05) (1-0,20) (1-0,20)}$$

$$= 1,563$$

Faktor penyesuaian energi :

$$= \frac{(1-0,04) (1-0,004)}{(1-0,02) (1-0,20)} = 1,22$$

Untuk memperkirakan harga PLTU pada tingkat tahun 1993 sebagai berikut :

Tabel VI.12.

Harga kapasitas PLTU gresik tahun 1993

keterangan	Interest Rate 12 %
Biaya pembangunan	8061,456
$CRF = \frac{(1-0.12)^{20} \cdot 0.12}{(10.12)^{20} - 1}$	0.13388
Biaya total	1079,268
Biaya O&M dianggap 10%	107,926
faktor penyesuaian	1.563
Harga kapasitas US \$/Kw 1855,585	

Perhitungan harga energi PLTU gresik

PLTU Gresik mempunyai kapasitas terpasang 100 Mw dengan plan faktor 0,70.

Jadi produksi energi tahunannya ( $E_o$ ) adalah :

$$= 0,70 \times 100 \times 10^3 \times 365 \times 24$$

$$= 613 \times 10^6 \text{ kWh}$$

Untuk melayani kebutuhan pembangkitnya sendiri sebesar 7 % sehingga energi tahunannya yang tersedia yaitu :

$$= (100-7) \% \times 613 \times 10^6$$

$$= 570,09 \times 10^6 \text{ kWh}$$

Dari PLTU Gresik ini yang paling menentukan adalah bahan bakar residu, yang diperkirakan pemakaian residu sebesar 166.000 liter pertahunnya. Dengan harga bahan

bakar residu diperkirakan Rp 300 perliter.

Selanjutnya harga energi dihitung sebagai perbandingan antara bahan bakar residu selama setahun dengan energi tahunan yang tersedia, kemudian dikalikan dengan faktor penyesuaian energi.

$$\text{Harga energi} = \frac{166.000.000 \times \text{Rp } 300}{570.09 \times 10^6} \times 1,22$$

$$= \text{Rp } 106,57 / \text{kWh}$$

$$= \text{US \$ } 0,053 / \text{kWh}$$

#### Perhitungan harga jual listrik dari PLTA Bendo

Setelah harga kapasitas dan harga energi dari PLTA Gresik sebagai pembanding kemudian dihitung keuntungan penjualan listrik dari PLTA bendungan Bendo.



Tabel VI.13.

Perhitungan keuntungan kotor dari penjualan listrik  
dari PLTA bendungan Bendo

No	uraian	satuan	interest rate
1	Keuntungan kapasitas		
	- kapasitas terpasang	Kw	2069.97
	- harga kapasitas	US \$/Kw	1855.585
	keuntungan tahunan	US \$	$3.891 \times 10^6$
2	Keuntungan energi		
	- energi dihasilkan	kWh	3777695.25
	- harga energi	US \$/kWh	0.053
	keuntungan tahunan	US \$	$0.20 \times 10^6$
jumlah keuntungan		US \$	$4.041 \times 10^6$

Tabel VI.14.

Perhitungan keuntungan bersih dari penjualan listrik  
PLTA Bendungan Bendo

Uraian (1)	annuity (2)	CAF (3) $n=60$ $i=12\%$	FV (4) $(2) \times (3)$	PWR (5) $(4) \times (5)$	PV (6)
keuntungan (US \$)	4,041				
biaya O&M (US \$ $10^6$ )	0.1277				
keuntungan bersih (US \$ $10^6$ )	3.9133	7471.641	29238.773	0.001967	57.21

catatan :

- untuk CAF (compound amount faktor) =  $\frac{(1+i)^n - 1}{i}$
- untuk PWR (present worth factor) =  $\frac{1}{(1+i)^n - 1}$

- PV = Present Value

- FV = Future Value

Dari tabel VI.14. diperkirakan keuntungan yang berasal dari penjualan listrik harga tahun 1993 sebesar US \$  $57.21 \times 10^6$

#### Keuntungan Total :

Keuntungan total dihitung berdasarkan keuntungan yang diperoleh dari penjualan energi listrik dan untuk irigasi, yang terdiri dari 2 perhitungan sebagai berikut :

1. Keuntungan total dari tanaman padi + jagung  
 $= ( 57.21 + 7.1703 ) \times 10^6 = \text{US } \$ 64,3803 \times 10^6$
2. Keuntungan total dari tanaman padi + kacang tanah  
 $= ( 57.21 + 9,6565 ) \times 10^6 = \text{US } \$ 66,8665 \times 10^6$

#### 6.4.3. Perhitungan Benefit Cost Ratio (BCR)

Untuk mengetahui perbandingan antara keuntungan dengan biaya pembangunan dipakai analisa BCR. Keuntungan dan biaya dihitung berdasarkan tingkat harga tahun 1993. Karena perkiraan biaya pembangunan ditaksir setelah proyek ini selesai tahun 1998, maka biaya tersebut sebelumnya harus diubah ketingkat harga tahun

Keuntungan tahunan  $\times P/A (i, 60) = \text{Modal}$

US \$  $11,0836 \times 10^6 + P/A (i, 60) = \text{US } \$ 102,275 \times 10^6$

$$P/A (i, n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{102,275 \times 10^6}{11,0836 \times 10^6} = 9,2276$$

$i = 11 \% \gg P/A (i, 60) = 9,0736$

$i = 10 \% \gg P/A (i, 60) = 9,9671$

dengan interpolasi didapat  $i = 10,1 \%$ .

Jadi  $IRR = 10,1 \% < 12 \%$ , berarti suku bunga lebih kecil dari laju penyusutan yang diperhitungkan dalam perencanaan.

## 2. Perhitungan padi + kacang tanah

Keuntungan tahunan untuk padi-kac.tanah didapatkan sebesar = US \$  $(3,9133 + 9,6365) \times 10^6$

$$= \text{US } \$ \text{ US } \$ 13,5695 \times 10^6$$

dimana pembangunan bendungan dimulai tahun 1993 sampai 60 tahun, kemudian besarnya IRR dihitung dengan cara sebagai berikut :

Keuntungan tahunan  $\times P/A (i, 60) = \text{Modal}$

US \$  $13,5695 \times 10^6 + P/A (i, 60) = \text{US } \$ 102,275 \times 10^6$

$$P/A (i, n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{102,275 \times 10^6}{13,5695 \times 10^6} = 7,537$$

$i = 13 \% \gg P/A (i, 60) = 7,6872$

$i = 14 \% \gg P/A (i, 60) = 7,1401$

dengan interpolasi didapat  $i = 13,30 \%$ .

Jadi  $IRR = 13,30 > 12 \%$ , berarti suku bunga lebih

besar dari laju penyusutan yang diperhitungkan dalam perencanaan.

1993. Perhitungan harga tersebut dibuat seperti tabel berikut.

Tabel VI.15.

Perhitungan Biaya

Biaya (US \$)	interest rate	
	discount factor P/F (i,n)	present value US \$ 10 <sup>6</sup>
- tahun 1993/1994 (7% x 58,0338 = 4,0624	0,8929	3,6273
- tahun 1994/1995 (28% x 58,0338 = 16,2495	0,7972	12,9541
- tahun 1995/1996 (28% x 58,0338 = 16,2495	0,7118	11,5664
- tahun 1996/1997 (32% x 58,0338 = 18,5708	0,6355	11,8017
- tahun 1997/1998 (5% x 58,0338 = 2,9017	0,5675	1,6467
Jumlah Total		41,5962

Biaya pembangunan untuk tingkat harga tahun 1993 sebesar US \$ 41,5962 x 10<sup>6</sup>.

Jadi perhitungan BCR untuk bendungan Bendo dapat ditentukan dengan 2 anggapan yaitu :

1. Harga BCR total dengan ditambah tanaman padi + jagung

$$BCR = \frac{\text{Benefit}}{\text{Cost}} = \frac{64,3803 \times 10^6}{41,5962 \times 10^6} = 1,54 \geq 1$$

2. Harga BCR total dengan ditambah tanaman padi + kacang tanah

## B A B VII

### URAIAN MENGENAI

### ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN SECARA GARIS BESAR

#### 7.1. UMUM

Dalam upaya untuk meningkatkan kesejahteraan yang lebih baik bagi seluruh rakyat, maka pemerintah mengeluarkan suatu kebijaksanaan yang mengatur tentang adanya dampak pembangunan terhadap suatu lingkungan. Dampak tersebut akan terjadi pada setiap kegiatan pembangunan, sehingga sejak dini perlu dipersiapkan langkah-langkah penanggulangan dampak negatif dan mengembangkan dampak positif.

Dengan dibangunnya bendungan Bendo, maka akan terjadi perubahan kondisi lingkungan yang bersifat positif maupun negatif sehubungan dengan tujuan utama bendungan untuk menambah kebutuhan air irigasi dan pembangkit listrik tenaga air.

Pada studi ini akan disimpulkan, bahwa suatu proyek pembangunan yang direncanakan akan dapat dilaksanakan apabila dampak positif yang ditimbulkan akan lebih besar dari dampak negatif. Untuk mengetahui sampai seberapa besar dampak yang mungkin timbul, dipakai teknik dan metode andal.

Teknik andal yang dipakai dalam studi ini adalah suatu proses pengelolaan yang diharapkan mampu untuk

mengidentifikasi dan mengevaluasi kondisi lingkungan suatu wilayah sebelum proyek dilaksanakan. Jadi dalam studi ini akan disampaikan suatu evaluasi lingkungan yang bersifat pendahuluan, dan disajikan secara komulatif karena data yang didapat sangat minim dan sebagian besar merupakan data sekunder. Dengan demikian dapat disimpulkan, bahwa maksud dan tujuan diadakan analisa dampak lingkungan tidak lain adalah untuk memberi gambaran tentang dampak suatu lingkungan akibat adanya suatu proyek dan kemudian dilakukan proses pengambilan keputusan apakah proyek tersebut layak dibangun atau tidak.

Pembangunan bendungan Bendo direncanakan terletak di Desa Ngindeng, Kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo Propinsi Jawa Timur. Untuk merealisasikan pembangunannya diperkirakan terjadi dampak maka dari itu diperlukan studi andai

## 7.2. DAMPAK PENTING YANG MUNGKIN DITIMBULKAN

Untuk mengantisipasi dampak yang akan timbul terhadap suatu lingkungan akibat adanya pembangunan Bendungan Bendo ini, maka penilaian lingkungan sudah merupakan keharusan dalam setiap pembangunan suatu proyek. Dengan demikian dampak yang mungkin terjadi dalam pembangunan Bendungan Bendo ini yaitu terjadinya interaksi antara komponen kegiatan secara operasional dengan komponen lingkungan yang

- cukup penting
- penting
- lebih penting
- sangat penting

### 7.3. RUANG LINGKUP ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN

Dalam menentukan analisa dampak lingkungan ini perlu ditentukan batas wilayah yang terkena dampak. Batas wilayah andal untuk proyek bendungan Bendo yang membendung aliran sungai Ngindeng terletak di desa Ngindeng, kecamatan Sawoo kabupaten Ponorogo Propinsi Jawa Timur.

Batasan-Batasan wilayah yang akan terkena dampak antara lain meliputi :

1. Batas Proyek, yaitu lokasi dimana proyek ini akan dilaksanakan. Pembangunan bendungan ini akan dilaksanakan di desa Ngindeng, Kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo Propinsi Jawa Timur, dengan catchment area seluas kurang lebih 138 km<sup>2</sup>.
2. Batas Administratif, yaitu ruang yang memiliki batas administratif pemerintahan tertentu yang memberikan keleluasaan tertentu pada penduduk untuk melakukan kegiatan sosial ekonomi dan sosial budaya sesuai dengan peraturan dan undang-undang yang berlaku di dalam ruang administratif tersebut. Wilayah administratif ditentukan meliputi wilayah administratif Kabupaten Ponorogo.



3. Batas Ekologis, yaitu daerah yang diperkirakan terkena dampak, meliputi daerah yang termasuk daerah pengaliran DAS Ngindeng yang terdiri dari daerah pemukiman, persawahan, daerah perhutani dll. Adapun batas-batas ekologis ini mencakup semua daerah yang mana pemilik tanah pada daerah lokasi bendungan kemungkinan juga berasal dari daerah lain.
4. Batas Teknis, yaitu daerah yang termasuk di dalam lingkungan daerah proyek dimana daerah tersebut merupakan daerah yang akan diteliti.

Parameter-parameter yang mungkin akan terpengaruh oleh proyek ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Iklim , dengan indikatornya :
  - suhu
  - angin
  - kelembaban
  - evaporasi
  - curah hujan
  - penyinaran matahari
- Kualitas udara :
  - konsentrasi debu selama tahap konstruksi
  - kebisingan

- Stabilitas terhadap :
  - longsor

- sliding
- penurunan

### 3. HIDROLOGI

- Pola aliran air permukaan dan aliran air tanah
- Ketersediaan air tanah
- Banjir
- Kekeringan
- Pola drainage

### 4. TANAH / LAHAN

- Erosi
- Kesuburan tanah
- Tata guna lahan

### 5. KETENAGA-KERJAAN

Dengan dilaksanakannya proyek pembangunan bendungan akan membutuhkan banyak tenaga kerja baik berasal dari daerah setempat maupun dari luar daerah. Dengan demikian proyek ini akan meningkatkan pendapatan masyarakat sekitar lokasi proyek.

### 6. SOSIAL - BUDAYA

Pembangunan bendungan Bendo ini memungkinkan adanya urbanisasi tenaga kerja dari daerah lain akan menyebabkan asimilasi kebudayaan antara budaya penduduk asli dengan penduduk pendatang. Selain itu akan terjadi perubahan pola kehidupan masyarakat, adat istiadat, keagamaan,

kelembagaan serta interaksi intra dan antar kelompok masyarakat.

## 7. FLORA DAN FAUNA

Flora di daerah disekitar kegiatan akan dilihat untuk mengetahui komunitas tumbuhan di daerah tersebut baik dalam lingkungan hidup yang masih alami maupun dalam daerah binaan.

Begitu juga dengan fauna, akan diuraikan penaksiran penyebaran pola migrasi dan kepadatan populasi hewan liar yang dianggap penting, karena memiliki nilai ekonomis, ekologis dan estetis.

Selain itu taksiran penyebaran dan kepadatan hewan ternak dianggap penting serta taksiran habitat hewan penting yang sudah ada akan terpengaruhi dampak negatif oleh adanya kegiatan tersebut.

## 8. SOSIAL EKONOMI

Telaahan mengenai dampak sosial ekonomi masyarakat disekitar lokasi kegiatan meliputi :

- Hal-hal yang berkaitan dengan mata pencaharian, pendapatan dan sistem perpajakan non formal maupun formal.
- Stratigrafi penduduk dan pendidikan.

- mobilisasi alat, tenaga dan bahan

c. Pembangunan, meliputi :

- pembuatan jalan kerja (access road)
- pembuatan direksi keet, base Camp dan gudang
- pembuatan diversion tunnel (saluran pengelak)
- pembuatan cofferdam (bendungan pengelak)
- pembangunan spillway dan main dam

3. Pasca Konstruksi

Kegiatan ini meliputi :

- Operasi dan pemeliharaan (operation and maintenance)

Masalah polusi yang dipermasalahkan oleh masyarakat di sekitar lokasi proyek adalah polusi air, yang mana umumnya polusi air ini disebabkan adanya genangan dari tampungan waduk sehingga dapat menyebabkan terjadi pembusukan tumbuhan-tumbuhan yang habitatnya bukan air. Dengan adanya pembusukan tersebut maka sementara waktu akan terjadi polusi udara akibat bau-bau pembusukan tumbuhan tersebut.

## 7.6. METODOLOGI DALAM ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN

Dalam menyusun analisa dampak lingkungan ini digunakan metodologi pengumpulan data yang meliputi :

1. Pengumpulan data primer

Pengumpulan data primer merupakan pengumpulan data yang langsung diperoleh di lapangan melalui wawancara langsung

dengan aparat desa setempat dan penduduk setempat mengenai tingkat sosial ekonomi dan kebudayaan mereka. Selain itu juga mengumpulkan data mengenai kondisi lingkungan awal.

## 2. Pengumpulan data sekunder

Pengumpulan data sekunder merupakan pengumpulan data yang diperoleh secara tidak langsung yaitu melalui data-data yang diperoleh dari instansi pemerintah, antara lain dari :

### - Dinas Meteorologi :

Data yang didapatkan yaitu data fisik-kimia yang meliputi iklim, temperatur, evaporasi, kelembaban, angin, kualitas udara dan sebagainya

### - Dinas Geologi :

Data mengenai jenis tanah dan batuan, air tanah, kandungan material yang dipakai dalam perhitungan stabilitas bendungan dsb.

### - Dinas Pengairan :

Data mengenai curah hujan, debit, pola drainase dll.

### - Pemerintahan desa :

Data mengenai demografi penduduk, hewan ternak, tanaman rakyat, luas daerah.

### - Pemda Tingkat II Kabupaten Ponorogo

Data mengenai Master Plan kabupaten Ponorogo.

### - Dinas kesehatan

Data mengenai kesehatan penduduk daerah studi.

### 7.7. EVALUASI DAMPAK

Dari hasil pengumpulan data pengamatan dan wawancara dengan instansi yang terkait dapat dibuat matrix dengan menggunakan metode Fisher dan Davies sebagai mana terlampir pada tabel VII.1.

Alasan dipakainya metode ini, adalah disebabkan karena dari beberapa komponen lingkungan telah dicoba untuk dikelompokkan dalam beberapa faktor antara lain :

- faktor lingkungan fisik
- faktor biologi
- faktor sosial ekonomi
- faktor sosial budaya

Dari analisa matrix dapat dikemukakan beberapa komponen lingkungan yang berinteraksi dengan aktifitas pemanfaatan air untuk irigasi dan tenaga listrik, sehingga menghasilkan dampak penting sebagai berikut :

Dalam mengevaluasi dampak yang timbul akibat pembangunan bendungan Bendo antara lain :

#### A. Dampak dari aspek yang ditelaah

##### 1. Iklim

Akibat pembangunan bendungan Bendo ini akan terjadi perubahan iklim di sekitar daerah aliran sungai yang disebabkan adanya genangan air pada tampungan waduk. Hal

ini akan berpengaruh pada iklim rata-rata setempat, kelembaban, kecepatan angin dan lain-lain..

## 2. Geologi

Dampak yang timbul dari kondisi geologi dengan adanya pembangunan bendungan Bendo yaitu tanah yang pada mulanya tidak jenuh air menjadi jenuh air hal ini disebabkan oleh genangan dari waduk yang terjadi setiap waktu. Dengan adanya perubahan kondisi tanah tersebut, kemungkinan akan terjadi kelongsoran, sliding atau penurunan.

## 3. Hidrologi

Dengan adanya bendungan ini akan terjadi perubahan pola air dipermukaan dan muka air tanah, sehingga menguntungkan bagi masyarakat untuk membuat sumur yang tidak terlalu dalam. Selain itu dapat mencegah banjir yang terjadi setiap tahun pada musim hujan dan dapat mengurangi kekeringan yang terjadi pada musim kemarau dengan mengeluarkan simpanan air dari waduk. Sedangkan dampak yang timbul dari alur sungai dibagian hulu waduk yaitu, memungkinkan terjadinya arus balik yang dapat memperlambat aliran, kedalaman air bertambah dan meningkatnya pendangkalan dasar sungai akibat sedimentasi serta kemungkinan tinggi muka air tanah secara keseluruhan akan mempengaruhi sistim drainase yang ada.

#### 4. Lahan/Tanah

Pengaruh yang timbul terhadap kondisi tanah yaitu erosi dari timbunan tanah/batuan yang terjadi dalam pembangunan bendungan. Hal tersebut akan menyebabkan perubahan tata guna lahan dan kesuburan tanah yang berlangsung dengan adanya bendungan tersebut, karena kebutuhan air untuk pola tanam dapat terpenuhi dan dapat menambah kesuburan tanah disekitar proyek.

#### 5. Ketenaga-kerjaan

Dampak yang timbul dari ketenaga kerjaan ini akan terjadi dampak positif maupun dampak negatif. Dengan adanya kenaikan kesempatan kerja yang ditunjukkan oleh semakin banyaknya bursa kesempatan kerja baik menjadi pegawai tetap maupun honorer yang ditawarkan oleh proyek bendungan Bendo yang akan memberikan harapan baik masyarakat sekitar proyek. Kemungkinan juga akan terjadi alih status dari pegawai proyek yang tidak tetap menjadi pengangguran, yang mana hal ini terjadi apabila pembangunan bendungan tersebut telah selesai dan terjadi pengurangan tenaga kerja.

#### 6. Sosial Budaya

Dengan adanya kesempatan kerja tersebut akan terjadi perubahan komponen lingkungan sosial budaya yaitu, negatif karena kemungkinan adanya pengaruh dari budaya



asing yang datang tanpa penyaringan yang ketat. Selain itu juga akan memberikan suatu perubahan fasilitas pendidikan yang lama dianggap kurang efektif menjadi lebih efisien. Penurunan tata nilai ditunjukkan oleh semakin berubahnya kultur masyarakat daerah tersebut yang disebabkan oleh pengaruh dari para pendatang meliputi kebiasaan, sopan santun dan tata nilai penduduk yang berada disekitar bendunagn Bendo.

#### 7. Sosial Ekonomi

Pengaruh komponen kegiatan proyek terhadap komponen lingkungan sosial ekonomi (kesempatan kerja, tingkat kepadatan) akan memberi hasil yang menguntungkan bagi masyarakat. Keuntungan yang diperoleh dari kesempatan kerja dan tingkat pendapatan disebabkan oleh kegiatan - kegiatan tenaga kerjaan pada tahap pra-konstruksi, konstruksi dan pasca-konstruksi.

Peningkatan kesempatan kerja ditunjukkan oleh semakin banyaknya bursa kesempatan kerja baik tetap maupun honorer yang ditawarkan melalui proyek bendunganBendo. Peningkatan tingkat pendapatan penduduk ditunjukkan dengann majunya pola pikir dan gaya hidup penduduk disekitar proyek dan semakin tinggi harga tanah disekitar proyek. Selain tersebut diatas keuntungan yang terdapat pada bendungan ini yaitu dengan adanya sistim

irigasi yang memadai dapat menaikkan hasil produksi pertanian yang akan dibawah kekota dengan adanya jalan baru menuju lokasi proyek.

Dengan adanya proyek tersebut juga akan menghasilkan tenaga listrik, sehingga akan sangat berguna bagi masyarakat sekitar proyek untuk memberikan hasil yang baru dari listrik. Melalui tenaga listrik tersebut juga dapat memberikan daya pada daerah Ponorogo yang berfungsi untuk membuka industri baru, sehingga dapat memberikan keuntungan pada pemerintah daerah setempat.

Dampak negatif timbul antara lain meliputi :

- Genangan air waduk akan menyebabkan hilangnya hasil pertanian dari sawah dan tegalan, yang diikuti pula dengan hilangnya pendapatan dari penduduk setempat.
- Karena genangan waduk pada bendungan Bendo ini cukup luas sehingga menyebabkan tenggelamnya beberapa daerah pemukiman yang nantinya diperlukan pemikiran bagaimana menempatkan penduduk yang tergusur.

## B. Dampak dari kegiatan yang ditelaah

### 1. Dari kegiatan Pra Konstruksi

- a. Feasibility Studi yang terdiri dari kegiatan survey dan investigasi yang akan menimbulkan tanggapan

terhadap masyarakat tentang rencana tersebut, sehingga akan memberikan perubahan yang besar terhadap masyarakat yaitu spekulasi tanah, keamanan dll.

- b. Design terdiri dari analisa ekonomi teknik, pelelangan dan kontrak yang akan menimbulkan tanggapan terhadap masyarakat mengenai persaingan harga bahan bangunan yang ada, sehingga menimbulkan pengaruh terhadap pola hidup masyarakat dan kesejahteraan.

## 2. Dari kegiatan Masa Konstruksi

- a. Persiapan, yang terdiri dari ganti rugi yang akan menimbulkan dampak terhadap masyarakat yaitu pola hidup masyarakat yang dikonsumsi dan diinvestasi, sedangkan pembebasan tanah akan menimbulkan dampak terhadap tata guna lahan mengenai hasil bumi dan mata pencaharian.
- b. Pelaksanaan yang meliputi :
  1. Mobilisasi peralatan yang membutuhkan transportasi, sehingga dengan adanya transportasi tersebut akan menimbulkan debu, CO, NO dan kebisingan yang dapat menyebabkan terganggunya kesehatan masyarakat.
  2. Pengadaan bahan bangunan yang membutuhkan perubahan bentang alam, sehingga dapat mengganggu tata guna lahan terhadap hasil bumi.

3. Pembangunan meliputi pembuatan jalan kerja, base camp, saluran pengelak, cofferdam, spillway dan main dam yang akan menyebabkan perubahan pola aliran, sehingga akan terjadi arus balik ke hulu yang akan menyebabkan perubahan terhadap muka air tanah dan dapat mengubah kestabilan tanah yang menyebabkan dampak terhadap masyarakat, yaitu produksi hasil bumi dan kesejahteraan. Selain dari pembangunan yang telah disebutkan diatas, juga membudayakan jalinan dan pemadatan yaitu meliputi memperbaiki bentang alam, sehingga menimbulkan dampak terhadap tata guna lahan dan daerah rembesan. Kualitas air dan kuantitas air yang menimbulkan tumbuhnya benthos dan terganggunya kestabilan tanah.

### 3. Dari kegiatan Paska Konstruksi

- a. Pengoperasian ini akan menimbulkan dampak terhadap pola aliran air yang meliputi banjir ditempat lain, daerah resapan dan kelembaban. Sedangkan dampak lainnya yaitu dapat memberikan sumber air bersih dan tenaga listrik yang dihasilkan.
- b. Pemeliharaan yang dilakukan setelah selesai bendungan ini dibangun yaitu meliputi kegiatan menjaga atau memelihara kestabilan bendungan dan kestabilan lahan

dari pengaruh longsor atau penurunan. Tanpa adanya kegiatan pemeliharaan, maka akan menimbulkan rasa kekhawatiran terhadap kondisi tanah yang tergenang.

Berdasarkan dari uraian diatas dan juga metode dari Fischer & Davis seperti pada tabel VII.1., maka proyek bendungan Bendo di kabupaten Daerah Tingkat II Ponorogo dapat memberikan dampak positif yang lebih luas bila dibandingkan dengan dampak negatif, sehingga dapat disimpulkan bahwa proyek tersebut layak untuk dibangun.

Keterangan : ( - ) = dampak negatif

( + ) = dampak positif

- |   |          |   |                 |
|---|----------|---|-----------------|
| 1 | = kecil  | 4 | = banyak        |
| 2 | = sedang | 5 | = banyak sekali |
| 3 | = cukup  |   |                 |

Tabel VII.1. Matrix Fisher and Davies

aktifitas proyek	Prakonstuksi	Konstruksi	Paskakonstruksi
komponen lingkungan			
1. Fisik-Kimia			
- air tanah/ permukaan	-1	-3	-4
- tata guna lahan	-2	-1	+2
- udara/cuaca	+1	-2	-1
- suhu	+1	-1	-1
- bau	-1	-1	-1
- kebisingan	-1	-2	+2
2. Biota			
- tanaman	-2	+2	+2
- binaan	-1	+1	-1
- satwa/ikan	-1	+1	-2
- migrasi biota	+2	+2	+1
- estetika			
3. Sosial-budaya			
- tenaga kerja	+1	+4	+2
- kesejahteraan kerja	+1	+3	+1
- sistim keamanan	+1	+2	+3
- pendidikan	+1	+2	+3
- interaksi sosial	+2	+3	+3
4. Sosial-ekonomi			
- tingkat pendapa tan	+4	+4	+3
- lapangan kerja	+2	+4	+2
- fasilitas umum	+1	+3	+5
T O T A L	+6	+22	+17

## B A B VIII

### K E S I M P U L A N

Dari beberapa analisa perhitungan mengenai studi pendahuluan bendungan Bendo yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, akhirnya dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tujuan utama dari pembangunan bendungan Bendo adalah untuk memenuhi kebutuhan air irigasi pada daerah irigasi Bendo dan selain itu dapat juga memberi tambahan listrik pada daerah kabupaten Ponorogo.
2. Berdasarkan penelitian geologi, topografi dll yang telah dilakukan oleh proyek induk pengembangan kali Bengawan Solo, maka dapat disimpulkan bahwa bendungan Bendo ini secara teknis direncanakan akan didirikan pada lembah sungai Ngindeng yang terletak didesa Sokoo.
3. Untuk analisa Hidrologi, perhitungan curah hujan rencana dipergunakan methode Gumbel dan perhitungan debit banjir rencana ditentukan dengan metode hidrograf satuan sintetis methode Snyder - Alexeyev. Untuk perhitungan debit andalan yang dijadikan dasar untuk PLTA didapatkan sebesar  $1.3 \text{ m}^3/\text{dt}$  dan perhitungan sedimen yang terjadi pada bandungan Bendo dipergunakan cara regresi power

didapatkan sedimen sebesar  $37,52 \text{ m}^3/\text{tahun}$ .

4. Daerah irigasi Bendo sebelum ada proyek, kebutuhan air irigasinya dapat terpenuhi dari debit yang ada disungai sekitarnya. Dengan adanya bendungan Bendo diharapkan daerah irigasi Bendo dapat dikembangkan menjadi daerah irigasi teknis dengan luas daerah irigasi yang diairi sebesar 3400 Ha dengan pola tanam sepanjang tahun yaitu padi + padi + polowijo. Sedangkan untuk menghitung besarnya kebutuhan air irigasi dipergunakan standart perencanaan irigasi SPI KP01, yang diperlukan juga perhitungan Evapotranspirasi dengan memakai perumusan Penman. Dengan adanya bendungan Bendo ini akan terjadi peningkatan hasil pertanian yaitu untuk padi sebelum ada bendungan sebesar 4 ton/Ha menjadi 6,5 ton/Ha sedangkan untuk polowijo yang terdiri dari jagung terjadi kenaikan dari 0,9 ton/Ha menjadi 2,75 ton/Ha, kedelai dari 0,85 ton/Ha menjadi 1,5 ton/ha dan kacang tanah dari 0,7 ton/Ha menjadi 2,5 ton/Ha.

5. Dengan adanya bendungan Bendo diperkirakan dapat memberikan tambahan energi selama musim kemarau sebesar 3,778 GWH setahun yang diperoleh berdasarkan :

- Debit dasar pembangkitan =  $1,3 \text{ m}^3/\text{dt}$

- Lama jam operasi selama 5 jam sehari

- Debit pembangkitan =  $\frac{24}{5} \times 1,3 = 6,24 \text{ m}^3/\text{dt}$



- Daya power house terpasang = 2069,97 Kw atau 2,069 Mw
- Tinggi jatuh efektif = 39,36 m

6. Dari hasil perhitungan besarnya inflow dan outflow, maka didapatkan volume yang dapat ditampung oleh waduk sebesar  $32,94 \times 10^3 \text{ m}^3$  dengan ketinggian muka air pada elevasi + 209 m. Sedangkan umur bendungan Bendo ini diperkirakan 60 tahun dengan jumlah sedimen dalam waduk sebesar 1550,64  $\text{m}^3$ .

Elevasi batas pengoperasian bendungan Bendo didapatkan sebagai berikut :

- Tail Water Level (TWL) = + 145m
- Minimum Operation Water Level (MOL) = + 161,25 m
- Full Supply Water Level (FSL) = + 209 m

7. Dalam perencanaan struktur tubuh bendungan yang telah dihitung, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

- Elevasi tinggi bendungan = + 216 m
- Tinggi bendungan = 66 m
- Lebar mercu bendungan = 12 m
- Kemiringan lereng hulu = 1 : 3
- Kemiringan lereng hilir = 1 : 2
- Tinggi jagaan = 3 m
- Elevasi cofferdam = + 157
- Tinggi cofferdam = 7 m

Untuk perencanaan spillway diperhitungkan berdasarkan debit banjir rencana dengan periode ulang 100 tahun dikalikan dengan 1,2 didapatkan sebesar 216,52 m<sup>3</sup>/dt, sehingga didapatkan elevasi Flood water level = + 212,20 m dan untuk bentuk penampang profil spillway dihitung berdasarkan rumus dari USBR Small Dams.

Untuk perhitungan stabilitas lereng tubuh bendungan didasarkan pada tiga keadaan yaitu :

Keadaan	Upstream	Down stream
- Kosong/selesai dibangun	1,81	1,31
- Muka air tinggi/ maksimum	1,21	1,23
- Turun tiba-tiba sampai kosong	1,81	-
- Turun tiba-tiba sampai ditengah	1,32	-

8. Berdasarkan analisa ekonomi biaya konstruksi bendungan Bendo pada tingkat harga tahun 1993 diperkirakan sebesar US \$ 58,034 x 10<sup>6</sup> dengan masa pelaksanaan 5 tahun. Keuntungan bersih yang didapatkan dari hasil pertanian dengan pola tanam padi - padi - kacang tanah dan hasil penjualan energi listrik sebesar US \$ 13,5693 x 10<sup>6</sup>, dengan demikian biaya benefit cost ratio (BCK) = 1,81 > 1

dan internal rate of return (IRR) = 13,30 % > 12 %, berarti bendungan Bendo akan membawa..

9. Dari analisa dampak lingkungan didapatkan bahwa dampak positif akibat dibangunnya bendungan Bendo lebih besar jika dibandingkan dengan dampak negatif yang ditimbulkan.

Dari analisa teknis, ekonomis dan dampak lingkungan tersebut diatas, maka dapat disimpulkan bahwa bendungan Bendo ini layak untuk dibangun.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anonymous (1977), "Feasibility Study Madiun Irrigation Project Four Dams, Report Volume 2", Proyek Pengembangan Wilayah Sungai Bengawan Sala, SALA.
2. Anonymous (1977), "Feasibility Study Madiun Irrigation Project Four Dams, Appendix II - Hidrologi," Proyek Pengembangan Wilayah Sungai Bengawan Sala, SALA.
3. Anonymous (1977), "Feasibility Study Madiun Irrigation Project Four Dams, Appendix III - Geologi," Proyek Pengembangan Wilayah Sungai Bengawan Sala, SALA.
4. Anonymous (1986), "Standart Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi", Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Pengairan, CV. Galang Persada, Bandung.

5. Anwar, Nadjadji (1985), "Diktat Pengembangan Sumber Daya Air:", FTSP -ITS, Surabaya.
6. Harto, Sri(1981), "Mengenal Dasar Hidrologi Terapan", Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil UGM, Jogjakarta.
7. Linsley, Kohler and Paulhus, "Hydrology for Engineers", McGraw Hill.
8. Munandar, Aris (1977), "Teknik Tenaga Listrik I", PT.Pradnya Paramita, Jakarta.
9. Sholeh, Mochammad (1985), "Diktat Hidrologi I TS-1421", FTSP-ITS, Surabaya.
10. Sholeh, Mochammad (1985), "Diktat Irigasi II TS-1542", FTSP-ITS, Surabaya.
11. Soejadi, Bambang "Diktat kuliah Sediment Transport", FTSP-ITS, Surabaya.

12. Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku Takeda (1981),  
"Bendungan Type Urugan", PT.Pradnya Paramita,  
Jakarta.
13. Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku Takeda (1977),  
"Hidrologi Untuk Pengairan", PT.Pradnya  
Paramita, Jakarta.
14. Subarkah, Imam (1980), "Hidrologi untuk Perencanaan  
Bangunan Air", I Dharma, Bandung.
15. USBR (1980), "Design of Small Dam", Oxford & IBH  
Publishing Co., New Delhi.